

Titre: Microtamisage de l'effluent d'un bioréacteur à lit mobile (MBBR)
Title:

Auteur: Karim Meziani
Author:

Date: 2013

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Meziani, K. (2013). Microtamisage de l'effluent d'un bioréacteur à lit mobile (MBBR) [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie.
Citation: <https://publications.polymtl.ca/1185/>

 **Document en libre accès dans PolyPublie**
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/1185/>
PolyPublie URL:

**Directeurs de
recherche:** Yves Comeau
Advisors:

Programme: Génie civil
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

MICROTAMISAGE DE L'EFFLUENT D'UN BIORÉACTEUR À LIT MOBILE (MBBR)

KARIM MEZIANI

DÉPARTEMENT DES GÉNIES CIVIL, GÉOLOGIQUE ET DES MINES

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION

DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES

(GÉNIE CIVIL)

JUIN 2013

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

MICROTAMISAGE DE L'EFFLUENT D'UN BIORÉACTEUR À LIT MOBILE (MBBR)

Présenté par : MEZIANI Karim

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

Mme DORNER Sarah, Ph.D., présidente

M. COMEAU Yves, Ph.D., membre et directeur de recherche

M. GADBOIS Alain, M.Sc.A., membre

DÉDICACE

AU NOM DE DIEU ET MISERICORDIEUX

Je dédie ce mémoire et mon travail à ma mère et mon père pour m'avoir donné la vie, éduqué, instruit et supporté dans tout, pour que j'arrive jusqu'à ce stade.

Je dédie mon mémoire à mon épouse pour avoir su me soutenir dans les moments difficiles et accepté certains sacrifices. Je dédie aussi mon mémoire à mes enfants et à la toute dernière (Sirine) qui m'ont donné beaucoup de courage pour que je persévère jusqu'à la fin.

Je dédie mon mémoire à mes frères et sœurs, aussi loin soient-ils et pour lesquels j'ai une pensée profonde.

REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont en premier lieu à mon directeur de recherche le professeur Yves Comeau pour son soutien technique et matériel. Je tiens à lui signifier ma fierté d'avoir été son étudiant et toute ma gratitude pour avoir accepté de me diriger dans ma Maîtrise. Ses minutieux conseils et orientations techniques m'ont permis d'apprendre beaucoup.

Je remercie Mme Sarah Dorner professeur à l'École Polytechnique de Montréal et membre du CREDEAU et Mr. Alain Gadbois de la firme John Meunier d'avoir accepté d'être membres de mon jury.

Merci à la firme John Meunier d'avoir mis à notre disposition le pilote pour effectuer nos essais indispensables pour mon travail de recherche.

Tout mes remerciements à M. Legris Secrétaire-trésorier de la Régie d'assainissement des eaux de Terrebonne/Mascouche de m'avoir permis d'installer le pilote sur le site de la station d'épuration de la ville afin de réaliser mes essais, ainsi que pour ses interventions auprès du Service d'incendie de la ville de Terrebonne.

Toute ma reconnaissance à M. Frédéric Coulombe, opérateur en chef de la station d'épuration de Terrebonne/Mascouche, qui m'a beaucoup aidé et facilité l'accès à la station.

Je remercie le Service d'incendie de la ville de Terrebonne en particulier MM. Jacques Berubé et Dave Sévigny pour m'avoir approvisionné en eau potable, sans quoi le fonctionnement du pilote aurait été difficile.

Toute ma gratitude à Mmes Édith Laflamme et Emmanuelle Dormoy et à M. Philippe Lefrançois, tous de la firme John Meunier pour toutes leurs aides.

Mes remerciements vont à M. Guillaume Hainault de la firme John Meunier pour son aide précieuse sur le terrain, sans oublier M. Alain Sanscartier.

Je remercie M. Bernard Clément professeur à l'École Polytechnique de Montréal pour son aide dans l'interprétation statistique de certaines données.

Je remercie M. Louis Fradette professeur au département de génie chimique pour m'avoir facilité l'accès au laboratoire pour la mesure de la taille des particules. Toute ma gratitude à M. Bertrand Floure représentant de la compagnie Malvern Instruments pour son support technique. Je

remercie aussi Émir Tsabet, étudiant au doctorat pour m'avoir assisté et donné la formation sur l'utilisation du Mastersizer 3000.

Merci à M. Michael Cimbritz de la firme Hydrotech pour les précieux renseignements sur le filtre à disques Hydrotech.

Je remercie Majdala Mansour-Geoffrion, étudiante au doctorat pour m'avoir assisté jusqu'à la fin de mon projet et ce malgré son propre travail de recherche.

Je ne manquerais pas de remercier les techniciens Denis Bouchard, Marie Ferland et Mélanie Bolduc du Laboratoire de Génie de l'Environnement de l'École Polytechnique de Montréal pour leur aide dans les analyses d'échantillons, sans oublier le support de Claire Grand d'Esnon stagiaire d'été au laboratoire.

Merci à mon ami Sanjak Mourad pour m'avoir consacré de son précieux temps pour la réalisation des dessins du filtre à disques avec *Autodesk Educational Product*.

Un très grand merci à Dr. Zerrouk Nacer-Eddine, ingénieur et ancien diplômé de l'École Polytechnique de Montréal pour ses orientations et les précieux conseils qu'il m'a fournis tout au long de mes études ainsi que pour le temps qu'il m'a alloué pour passer en revue mon mémoire.

Je ne finirais pas sans remercier José-Antonio, Marc-André, Jaime, Dominic, Dominique, Giovanna, Kunaal, Reza et Claudine, tous étudiants du professeur Yves Comeau, avec lesquels nous formions une bonne équipe et échangeons sur nos travaux de recherches.

Je remercie Mme Manon Latour, agente aux dossiers étudiants et Mme Dominique Pépin, secrétaire, au département des génies civil géologiques et des mines de l'École Polytechnique de Montréal pour leur aide précieuse.

Merci à tous mes amis et en particulier Adel, Abdelwahab et Farid, qui m'ont supporté et encouragé pendant les moments difficiles.

RÉSUMÉ

Le procédé de traitement par bioréacteur à lit mobile ou *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR), figure parmi les procédés biologiques compacts qui sont utilisés pour la réduction de la charge polluante DCO/DBO, la nitrification et la dénitrification. Le procédé de MBBR ne nécessite pas de recirculation de boues. Cependant, la clarification de l'effluent de MBBR demeure problématique, puisque la séparation conventionnelle de la biomasse s'effectue dans un décanteur secondaire par sédimentation difficilement réalisable en raison de la faible concentration des matières en suspension (150 et 200 mg MES/L).

Le but de ce projet de recherche était d'évaluer l'efficacité d'enlèvement des MES par un microtamis (MT) avec et sans ajout de sel métallique et/ou de polymère pour la clarification d'un effluent de MBBR. Pour ce faire les objectifs spécifiques suivants ont été fixés :

- déterminer l'effet de l'ouverture des mailles d'un microtamis sur la capture des MES et
- déterminer l'effet de l'ajout de coagulant (FeCl_3) et/ou de polymère cationique à haut poids moléculaire, sur la concentration des MES au tamisat (TAM).

Les essais ont été réalisés sur les échantillons des eaux usées de la station d'épuration (STEP) de Terrebonne/Mascouche, et répartis en deux étapes : essais de laboratoire et essais pilotes. Les essais de laboratoire ont consisté à faire des essais de jar test et de microtamisage afin de déterminer la concentration du coagulant et du polymère ainsi que l'ouverture des mailles du microtamis à utiliser pour la coagulation-floculation et le microtamisage de l'effluent de MBBR afin d'enlever les MES. Les tailles de MT testées ont été : 20, 40, 80 et 160 μm et les paramètres analysés sur des échantillons composés ont été : TDCO, SDCO, $\text{DBO}_5\text{-C}$, MES, MVES, TP, o-PO_4 et pH. Les essais pilotes ont consisté à réaliser la coagulation-floculation (selon le dosage qui a été établi durant les essais de laboratoire) et le microtamisage avec le filtre à disques (Hydrotech) et avec les MT 40 et 80 μm (les MT ont été sélectionnés durant les essais de laboratoire) afin de déterminer leur impact sur la réduction des MES.

Le microtamisage de l'effluent de MBBR avec les MT 40 et 80 μm a permis d'obtenir des abattements et des concentrations en MES au tamisat (TAM) respectifs de 54 % ; 48 mg MES/L et 33% ; 74 mg MES/L. Par contre le microtamisage de l'effluent de MBBR floculé avec le polymère cationique (7 mg polym./L ou 70 mg polym./g MES AFF) pour le MT 40 μm et (3 à 4

mg polym./L ou 35 mg polym./g MES AFF) pour le MT 80 μm a permis d'obtenir les résultats suivants :

- MT 40 μm : Abatt. MES > 90 % et MES TAM < 10 mg/L
- MT 80 μm : Abatt. MES > 80 % et MES TAM < 15 mg/L.

Le microtamisage avec les MT 40 et 80 μm de l'effluent de MBBR coagulé (FeCl_3) et floclulé (polymère cationique) a entraîné une augmentation des MES au tamisat par rapport aux concentrations obtenues sans coagulant (polymère seul). Le procédé de coagulation et floculation a besoin d'être amélioré en utilisant d'autres combinaisons : alun + polymère cationique ou FeCl_3 + polymère anionique, afin d'éviter la rupture du gâteau à la surface des MT.

Il est recommandé de faire un nettoyage chimique du MT avec du NaOCl (0,5%) après 12 heures de fonctionnement pour empêcher leur colmatage. Il est aussi recommandé d'augmenter les dimensions de la goulotte de récupération du rétentat afin d'éviter la chute des boues à l'intérieur des disques du filtre ce qui résulte en une augmentation du colmatage des MT. Des études peuvent aussi être réalisées sur l'impact de l'augmentation du débit et de la pression d'eau de lavage sur la récupération des boues (peu d'auteurs se sont penchés sur cet aspect).

En conclusion, le microtamisage d'un effluent floclulé (polymère cationique) par un filtre à disques avec les MT 40 ou 80 μm a permis d'atteindre la cible moyenne de 15 mg MES/L à l'effluent traité

ABSTRACT

The Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) is a compact biological process used to remove organic matter COD / BOD, nitrify and denitrify a wastewater. The MBBR process does not require recirculation of sludge. However, clarification of the MBBR effluent remains problematic, since the conventional separation of the biomass takes place in a secondary clarifier where sedimentation is difficult due to the low concentration of total suspended solids (150 and 200 mg TSS/L).

The objective of this project was to evaluate the removal efficiency of TSS by a microscreen with and without the addition of coagulant and / or polymer for the clarification of MBBR effluents. To this aim, the following objectives were set:

- determine the impact of the mesh size of a microscreen on the capture of TSS, and
- determine the impact of the addition of coagulant (FeCl_3) and / or cationic polymer of high molecular weight on the screen underflow TSS.

Tests were carried out on wastewater samples taken at the treatment plant of Terrebonne / Mascouche, and divided into two steps: laboratory and pilot testing. The laboratory tests consisted in conducting jar tests and microscreening testing to determine the concentration of coagulant and polymer, and the mesh size of microscreen to use for the coagulation-flocculation and microscreening of MBBR effluent to remove TSS. The mesh sizes of microscreen tested were: 20, 40, 80 and 160 μm and the parameters analyzed on grab samples were: TCOD, SCOD, $\text{BOD}_5\text{-C}$, TSS, VSS, TP, o-PO_4 and pH. The pilot tests were to achieve coagulation-flocculation (depending on the dosage that has been established in laboratory tests) and microscreening with the mesh size of microscreen 40 and 80 μm (which were selected from laboratory tests) to determine their impact on the reduction of TSS (analyzed on composite samples).

Microscreening an MBBR effluent, with mesh sizes of microscreen 40 and 80 μm (using a disc filter – Hydrotech), allowed to obtain TSS removal and underflow TSS concentrations of, respectively, 54%; 48 mg TSS/L and 33%; 74 mg TSS /L. However, microscreening of the flocculated MBBR effluent with a cationic polymer (7 mg polymer/L or 70 mg polymer. / g TSS influent) for mesh size of microscreen 40 μm and (3 to 4 mg polymer/L or 35 mg polymer/g TSS influent) for mesh size of microscreen 80 μm , yielded the following results:

- mesh size of microscreen 40 μm : TSS reduction > 90% and TSS underflow <10 mg / L
- mesh size of microscreen 80 μm : TSS reduction > 80% and TSS underflow <15 mg / L.

The microscreening with mesh size of microscreen 40 and 80 μm of coagulated (with FeCl_3) and flocculated (with cationic polymer) MBBR effluent resulted in an increase in TSS underflow, compared to those obtained with polymer alone. The process of coagulation and flocculation could be improved by using other combinations eg: alum + cationic polymer or FeCl_3 + anionic polymer, in order to avoid breaking the cake on the surface of microscreen.

In conclusion, microscreening a flocculated effluent (using a cationic polymer) with a discfilter and mesh size of microscreen 40 and 80 μm allowed to achieve an average effluent TSS concentration less than 15 mg/ L.

It was recommended to make a chemical clean for microscreens with NaOCl (0.5%) after every 12 hours of operation to prevent their clogging. It is also recommended to increase the size of the chute recovery to avoid sludge accumulation inside the disc filters which results in increased clogging. Studies can also be conducted on the impact of a higher flowrate and pressure of wash water on the sludge recuperation (few authors have focused on this aspect).

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE.....	III
REMERCIEMENTS	IV
RÉSUMÉ.....	VI
ABSTRACT.....	VIII
TABLE DES MATIÈRES	X
LISTE DES TABLEAUX.....	XIV
LISTE DES FIGURES	XVI
LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES	XX
LISTE DES ANNEXES	XXIII
CHAPITRE 1 INTRODUCTION	XXIII
1.1 Mise en contexte.....	1
1.2 Hypothèse scientifique originale et objectifs du projet	3
1.2.1 Objectif général	3
1.2.2 Hypothèse scientifique originale	3
1.2.3 Objectifs spécifiques	3
1.3 Organisation du mémoire	4
CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE.....	5
2.1 Objectifs du traitement des eaux usées.....	5
2.2 Traitement par bioréacteur à lit mobile	6
2.3 Clarification des effluents de MBBR	8
2.3.1 Coagulation ou floculation + décantation	8
2.3.2 Coagulation + floculation + flottation.....	9
2.3.3 Filtration sur un filtre multicouche avec ou sans polymère	10

2.3.4	Floculation et microtamisage	10
2.4	Coagulation.....	11
2.4.1	Compression de la double couche	12
2.4.2	Adsorption et neutralisation des charges.....	12
2.4.3	Emprisonnement des particules dans un précipité	12
2.4.4	Adsorption et pontage	12
2.4.5	Principaux coagulant utilisés.....	13
2.5	Floculation	13
2.5.1	Floculation péricinétique	14
2.5.2	Floculation orthocinétique.....	14
2.5.3	Polymères utilisés.....	15
2.6	Facteurs influençant la coagulation et floculation	16
2.7	Réduction de la production de boues.....	16
2.8	Microtamisage	17
2.8.1	Principe de fonctionnement du filtre à disques Hydrotech	20
2.8.2	Pression différentielle.....	21
2.8.3	Charge hydraulique superficielle.....	22
2.8.4	Pourcentage de lavage	22
2.8.5	Indice de filtrabilité	22
CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE		25
3.1	Eaux usées	25
3.2	Essais de laboratoire	25
3.2.1	Matériel	25
3.2.2	Coagulant.....	27
3.2.3	Polymère.....	27

3.2.4	Microtamisage sans ajout de produits chimiques.....	28
3.2.5	Coagulation-floculation et microtamisage	29
3.2.6	Protocole opératoire	33
3.2.7	Échantillonnages et analyses	34
3.3	Essais pilotes.....	36
3.3.1	Matériel et méthode.....	36
3.3.2	Coagulant et polymère :	37
3.3.3	Protocole opératoire	37
3.3.4	Déroulement des essais et échantillonnage	40
3.3.5	Méthodes analytiques	41
3.4	Validation des résultats.....	41
3.4.1	Bilan de masse.....	41
3.5	Efficacité du procédé de microtamisage.....	45
CHAPITRE 4 RÉSULTATS.....		46
4.1	Essais de laboratoire	46
4.1.1	Phase 1 (dose de polymère variable et dose de coagulant constante)	46
4.1.2	Phase 2 (dose de coagulant variable et dose de polymère constante)	50
4.1.3	Phase 3 (validation par bilans de masse).....	55
4.2	Essais pilotes.....	59
4.2.1	Microtamisage sans ajout de produits chimiques (MT 40 et 80 μm).....	59
4.2.2	Microtamisage avec ajout de produits chimiques (MT 40 et 80 μm)	60
4.2.3	Distribution de la taille des particules	73
4.3	Synthèse des résultats	74
4.4	Validation des résultats.....	76
4.5	Production de boues et capacité hydraulique du filtre à disque.....	82

CHAPITRE 5 DISCUSSION	84
5.1 Microtamisage sans ajout de produits chimiques (MT 40 et 80 µm)	84
5.2 Microtamisage avec ajout de produits chimiques (MT 40 et 80 µm).....	85
5.2.1 Ajout de polymère	85
5.2.2 Ajout de coagulant et de polymère.....	86
5.3 Efficacité du filtre à disques	88
5.4 Empreinte carbone.....	89
CONCLUSIONS	90
RECOMMANDATIONS	91
RÉFÉRENCES	93
ANNEXES.....	95

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2-1: Objectifs des différents niveaux de traitement des eaux usées (adapté de M&E, 2003).....	6
Tableau 2-2 : Sommaire des procédés de clarification des effluents de MBBR.....	8
Tableau 3-1 : Résumé des conditions expérimentales des essais au laboratoire.....	34
Tableau 3-2 : Répartition des échantillonnages durant les essais de laboratoire	35
Tableau 3-3 : Méthodes et nombre d’analyses effectuées durant les essais au laboratoire.....	35
Tableau 3-4 : Intervalle des doses utilisées durant les essais pilotes	39
Tableau 3-5 : Méthodes et nombre d’analyses effectuées durant les essais pilotes	41
Tableau 4-1: Résultats des essais de laboratoire et des essais pilotes (sans ajout de produits chimiques)	75
Tableau 4-2 : Résultats des essais de laboratoire avec les MT 40, 80 et 160 μm (avec ajout de produits chimiques)	75
Tableau 4-3 : Résultats des essais pilotes avec les MT 40, 80 μm (avec ajout de produits chimiques)	76
Tableau 4-4 : Données de calcul du bilan de masse et de l’accumulation sur les MES (MT 40 μm)	79
Tableau 4-5 : Données de calcul du bilan de masse et de l’accumulation sur les MES (MT 80 μm)	79
Tableau 4-6 : Paramètres d’opération du filtre à disques.....	83
Tableau 5-1 : Fractionnement de la matière organique de l’affluent pour des eaux usées brutes typiques (c.f. BioWin) et de celles du MBBR.....	88

LISTE DES FIGURES

Figure 1-1: Modèle de la double exponentielle pour déterminer la vitesse de décantation	2
Figure 2-1 : Supports Anox Kaldnes K3	7
Figure 2-2 : Grille de rétention des supports	7
Figure 2-3 : Type de bioréacteur MBBR	7
Figure 2-4 : Schéma du procédé de floculation et décantation de l'effluent de MBBR	9
Figure 2-5 : Schéma du procédé de coagulation - floculation et flottation	9
Figure 2-6 : Schéma du procédé de filtration sur le filtre KFS	10
Figure 2-7 : Schéma du procédé de floculation et microtamisage	10
Figure 2-8 : Double couche d'une particule colloïdale	11
Figure 2-9 : Principe de la floculation.....	13
Figure 2-10 : Types de polymères utilisés en floculation	15
Figure 2-11 : Taille des particules et procédé utilisé.....	17
Figure 2-12 : Efficacité de séparation des particules en fonction de la taille des particules (filtre à disques).....	18
Figure 2-13 : Microtamis produits par Hydrotech.....	19
Figure 2-14 : Schéma du procédé de clarification par un filtre à disques	19
Figure 2-15 : Schéma du tambour avec un disque	20
Figure 2-16 : Principe de fonctionnement du filtre à disques hydrotech	21
Figure 2-17 : Pression différentielle dans un filtre à disques	21
Figure 2-18 : Variation des pertes de charge en fonction du volume d'eau filtré.....	23
Figure 2-19 : Crevaisson du microtamis.....	24
Figure 2-20 : Délai de filtration.....	24
Figure 3-1 : Schéma de la filière de traitement de la STEP de Terrebonne/Mascouche.....	25
Figure 3-2 : Bécher de 2 litres avec valve pour les essais de Jar test modifié (phase 3).....	26

Figure 3-3 : Microtamis (a) et rampe d'agitation (b) pour effectuer le microtamisage de l'effluent MBBR	26
Figure 3-4 : Coupelle modifiée	28
Figure 3-5 : Microtamisage de l'effluent MBBR.....	29
Figure 3-6 : Remise en suspension des floes de l'effluent MBBR coagulé et floculé	30
Figure 3-7 : Procédure modifiée de Jar test et microtamisage (phase 3)	33
Figure 3-8 : Identification des échantillons durant les essais au laboratoire.....	35
Figure 3-9 : Emplacement du pilote par rapport à la filière de traitement de la STEP de Terrebonne/Mascouche	36
Figure 3-10 : Sonde Solitax avec essuie-glace pour mesurer les MES à l'affluent et au tamisat ..	36
Figure 3-11 : Schéma détaillé du procédé de microtamisage implémenté à la STEP de Terrebonne /Mascouche.....	37
Figure 3-12 : Disque avec microtamis (Hydrotech).....	38
Figure 3-13 : Schéma du bilan de masse autour du microtamis de laboratoire.....	43
Figure 3-14 : Schéma fonctionnel du procédé en mode microtamisage statique.....	48
Figure 3-15 : Schéma fonctionnel du procédé en mode de microtamisage en rotation et lavage..	48
Figure 4-1 : Effet de la dose de polymère (coag. = 1 mg Fe/L; MT 20 µm) sur les MES (EFF C,F et TAM).....	47
Figure 4-2 : Effet de la dose de polymère (coag. = 1 mg Fe/L; MT 20 µm) sur la TDCO (EFF C,F et TAM).....	47
Figure 4-3 : Effet de la dose de polymère (coag. = 1 mg Fe/L; MT 40, 80 ou 160 µm) sur les MES (EFF C,F et TAM).....	48
Figure 4-4 : Effet de la dose de polymère (coag. = 1 mg Fe/L; MT 40, 80 ou 160 µm) sur la TDCO (EFF C,F et TAM)	49
Figure 4-5 : Effet de la dose de polymère (coag. = 1 mg Fe/L; MT 40, 80 ou 160 µm) sur la XDCO (EFF C,F et TAM)	50

Figure 4-6 : Effet de la dose de coagulant sur les MES (polym. = 3 mg/L; MT 40, 160 μ m et polym. = 2 mg/L; MT 80 μ m)	51
Figure 4-7 : Effet de la dose de coagulant sur la TDCO (polym. = 3 mg/L; MT 40, 160 μ m et polym. = 2 mg/L; MT 80 μ m)	52
Figure 4-8 : Effet de la dose de coagulant sur la CSDCO (polym. = 3 mg/L; MT 40 μ m)	53
Figure 4-9 : Effet de la dose de coagulant sur la CSDCO (a) polym. = 3 mg/L; MT 40 et (b) polym. = 2 mg/L; MT 80 μ m)	53
Figure 4-10 : Effet de la dose de coagulant sur le TP (polym. = 3 mg/L; MT 40 μ m et polym. = 2 mg/L; MT 80 μ m)	54
Figure 4-11 : Effet de la dose de coagulant sur les o-PO ₄ et XP ((a) polym. = 3 mg/L; MT 40 et (b) polym. = 2 mg/L; MT 80 μ m)	55
Figure 4-12 : Effet de l'ouverture des mailles des MT40, 80 et 160 μ m, sur les MES	56
Figure 4-13 : Effet de la dose de coagulant sur les MES (poly. = 4 mg/L; MT 40 μ m)	57
Figure 4-14 : Effet de la dose de coagulant sur les MES (poly. = 4 mg/L; MT 80 μ m)	57
Figure 4-15 : Effet de la dose de coagulant sur les MES (poly. = 4 mg/L; MT 80 μ m)	58
Figure 4-16 : Effet de l'ouverture des mailles du MT 40 μ m sur les MES	59
Figure 4-17 : Effet de l'ouverture des mailles du MT 80 μ m sur les MES	60
Figure 4-18 : Effet de la dose de polymère sur les MES (MT 40 μ m)	61
Figure 4-19 : Effet de la dose de coagulant (polym. = 4 mg/L (a) et 3 mg/L (b)) sur les MES (MT 40 μ m)	62
Figure 4-20 : Effet de la dose de coagulant (polym. = 5 mg/L (a) et 7 mg/L (b)) sur les MES (MT 40 μ m)	62
Figure 4-21 : Effet de la dose de polymère sur la TDCO MT 40 μ m	63
Figure 4-22 : Effet de la dose de polymère sur la XDCO (a) et la SDCO (b) (MT 40 μ m)	64
Figure 4-23 : Effet de la dose de polymère sur la DBO ₅ -C (MT 40 μ m)	64
Figure 4-24 : Effet de la dose de coagulant (polym. = 4 mg/L) sur la DBO ₅ -C (MT 40 μ m)	65

Figure 4-25 : Effet de la dose de polymère sur TP (MT 40 μm).....	66
Figure 4-26 : Effet de la dose de polymère sur les o-PO_4 (a) et XP(b) avec le MT 40 μm	67
Figure 4-27 : Effet de la dose de polymère sur les MES (Chs = 5 m/h (a) et Chs = 7 m/h (b); MT 80 μm)	68
Figure 4-28 : Effet de la dose de polymère (mg polym./g MES AFF) sur les MES (MT 80 μm).68	
Figure 4-30 : Effet de la dose de polymère sur la TDCO (MT 80 μm)	70
Figure 4-31 : Effet de la dose de polymère sur la XDCO (a) SDCO (b) (MT 80 μm)	70
Figure 4-32 : Effet de la dose de polymère sur TP (MT 80 μm).....	71
Figure 4-33 : Effet de la dose de polymère sur XP(a) et o-PO_4 (b) (MT 80 μm).....	71
Figure 4-34 : Effet de la dose de coagulant sur les o-PO_4 (polym. = 2 et 3 mg/L; 80 μm).....	72
Figure 4-35 : Effet de la dose de coagulant sur TP et XP (polym. = 2 et 3 mg/L; MT 80 μm)	72
Figure 4-36 : Distribution de la taille des particules de l'échantillon du 05-11-2012 (AFF, EFF_F et TAM), avec le MT 40 μm	73
Figure 4-37 : Distribution de la taille des particules de l'échantillon du 31-10-2012 (AFF, EFF_F et TAM), avec le MT 40 μm	74
Figure 4-38 : Schéma du fonctionnement du filtre à disques pendant le lavage.....	78
Figure 4-39 : Photos de l'accumulation des boues à l'intérieur des disques (a) du filtre, à l'extérieur du MT 80 μm (b) et à l'intérieur des MT 40 et 80 μm	78
Figure 4-40 : Photo de l'accumulation de boue à l'extérieur des disques	80
Figure 4-41 : Chute des boues à l'extérieur de la goulotte pendant le cycle de lavage	80
Figure 4-42 : Mesure de la fuite de rétentat pendant le cycle de lavage	81
Figure 5-1 : Effet de l'ouverture des mailles du MT 40 et 80 μm sur les MES (comparaison avec la littérature)	84
Figure 5-2 : Effet la dose de polymère sur les MES pour les MT 40 et 80 μm (comparaison avec la littérature)	85

LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

La liste des sigles et acronymes présente, dans l'ordre alphabétique, les sigles et abréviations utilisés dans le mémoire ou la thèse ainsi que leur signification

A	Surface filtrante du microtamis (m^2)
AFF	Affluent
BA	Boues activées
Chs	Charge hydraulique superficielle ($m^3/h/m^2$)
CSDCO	Demande chimique en oxygène filtrable (mg/L)
Coag.	Coagulant (mg Fe/L)
DBO ₅ -C	Demande biochimique en oxygène carbonée en 5 jours (mg/L)
EFF	Effluent
EFF _{C,F}	Effluent coagulé et floculé (avec le coagulant et le polymère)
EFF _F	Effluent floculé (avec le polymère)
ERE	Exigences de rejet environnemental
F _{AFF}	Flux de l'affluent (g MES/essai)
F _{ACC}	Flux de la masse accumulée (g MES/essai)
F _{coag.}	Flux de coagulant (g MES/essai)
Fe	Fer
FeCl ₃	Chlorure ferrique
F _{polym}	Flux du polymère (g MES/essai)
F _{RET}	Flux du rétentat (g MES/essai)
F _{TAM}	Flux du tamisat (g MES/essai)
F _{RET}	Flux du rétentat (g MES/essai)
fS	Fraction de la DCO soluble
fC	Fraction de la DCO colloïdale

fX	Fraction de la DCO particulaire
HRT	Temps de rétention hydraulique (min)
iVT	Indice de la fraction volatile des matière en suspensions
MDDEFP	Ministère du développement durable, de l'environnement, de la faune et des parcs
MES	Matières en suspension
MIES	Matières inorganiques en suspension
MT	Microtamis (μm)
MVES	Matières volatiles en suspension
NH ₄	Azote ammoniacal
o-PO ₄	Orthophates (mg P/L)
Polym.	Polymère cationique à haut poids moléculaire (mg/L)
Q _{LAV}	Débit d'eau de lavage (L/min)
RET	Rétentat
SDCO	Demande chimique en oxygène soluble (mg/L)
STEP	Station d'épuration
TAM	Tamisat
TP	Phosphore total (mg P/L)
TRH	Temps de rétention hydraulique.
TDCO	Demande chimique en oxygène totale (mg/L)
V _{AFF}	Volume d'affluent par essai (m ³ /essai)
V _{LAV}	Volume d'eau de lavage par essai (m ³ /essai)
XP	Phosphore particulaire (mg P/L)

Identification des échantillons

(X_Y_Q_{AFF})

X	Dose de coagulant (mg Fe/L)
Y	Dose de polymère (mg/L)
Q_{AFF}	Débit de l'affluent (effluent de MBBR) (m^3/h)

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 - Mesure de la DCO soluble (SDCO) ou floculée – filtrée.....	95
ANNEXE 2 - Essais de laboratoire - phases 1, 2 et 3	97
ANNEXE 3 - Essais pilotes.....	102
ANNEXE 4 - Analyse statistique.....	111
ANNEXE 5 - Photos du pilote (filtre A disques – HYDROTECH)	114
ANNEXE 6 - Compilation des conditions expérimentales des essais pilotes.....	116

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

1.1 Mise en contexte

Les eaux usées d'origine domestiques ou industrielles non traitées présentent un risque sur la santé publique et sur les écosystèmes, lorsqu'elles sont rejetées au milieu naturel. Les différentes chaînes de traitement qui existent visent à réduire ou à éliminer les polluants présents dans les eaux usées avant leur rejet, conformément aux exigences de rejet environnemental (ERE) établies par le MDDEFP (Ministère du développement durable, de l'environnement, de la faune et des parcs). Parmi les polluants à contrôler se retrouvent les matières en suspension (MES), la demande biochimique en oxygène ($\text{DBO}_5\text{-C}$), l'azote ammoniacal (NH_4) et le phosphore total (TP).

L'assainissement des eaux usées requiert plusieurs niveaux de traitement : prétraitement, traitement primaire, secondaire, tertiaire ou avancé. Le traitement par boues activées (BA) figure parmi les procédés de traitement biologique les plus utilisés qui nécessitent la recirculation d'une fraction des boues produites. Ce procédé permet de réduire la $\text{DBO}_5\text{-C}$, d'effectuer la nitrification, la dénitrification et la déphosphatation biologique (Comeau, 2010).

La recherche d'une technologie possédant les avantages des procédés de boues activées et du biofiltre a mené à la création d'un nouveau procédé plus compact, appelé bioréacteur à lit mobile ou *Moving Bed Biofilm Reactor* - MBBR (Odegaard et al., 1994) qui présente les avantages suivants :

- le traitement dépend moins de la séparation de la biomasse qui est 10 fois moins concentrée que dans un procédé de boues activées;
- les exigences en infrastructures pour la mise à niveau d'installations existantes (*retrofit*) sont réduites;
- La biomasse attachée devient plus spécialisée puisqu'il n'y a pas de retour de liqueur mixte; la clarification des effluents de MBBR demeure problématique, puisque la séparation conventionnelle de la biomasse s'effectue dans un décanteur secondaire par sédimentation difficilement réalisable en raison de la faible concentration des MES (150 et 200 mg MES/L) à l'effluent de MBBR. Ce phénomène peut s'expliquer par le modèle de la double exponentielle (Figure 1-1; Takács et al., 1991), dans lequel la vitesse de

décantation ($V_{s,i}$) qui est directement liée à la concentration des MES, serait nulle (zone I) à de très faibles concentrations en MES ($X_{\min} \leq 20\text{mg/L}$) suivi d'une augmentation pour atteindre le maximum V_0' (zone II) grâce à la floculation des particules ($X > 1000\text{mg/L}$) (Deltimple, 2010). La vitesse de décantation demeurera constante (zone III) car la taille maximale des particules est atteinte pour décroître (zone IV) à cause de la décantation freinée (Liao et al., 2003; Comeau, 2010)

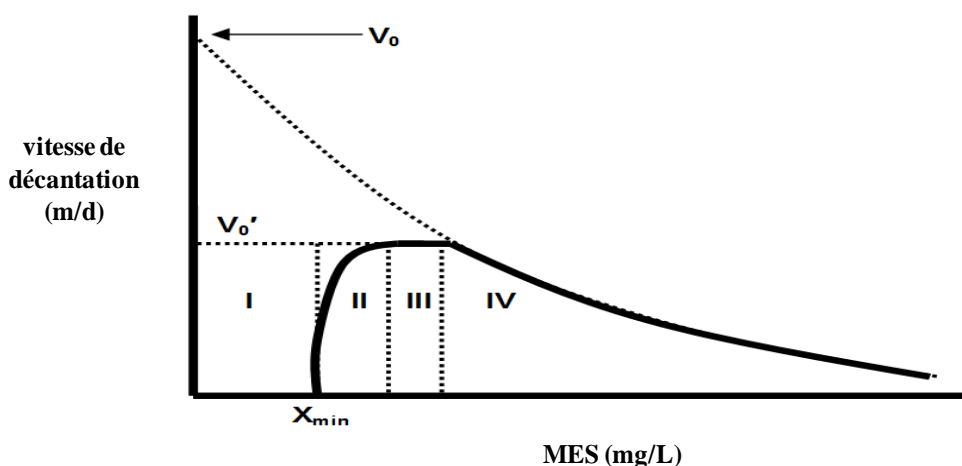


Figure 1-1: Modèle de la double exponentielle pour déterminer la vitesse de décantation (Takács et al., 1991)

Le procédé MBBR se distingue des autres procédés par deux caractéristiques :

- le biofilm développé sur les supports du procédé MBBR est responsable de la réduction de la matière soluble rapidement biodégradable, et
- les particules qui passent à travers le réacteur demeurent relativement inchangées.

En considérant ces deux caractéristiques l'implémentation d'un procédé de coagulation en aval du MBBR serait intéressante, si l'objectif du traitement est de réduire les MES et la DCO (Odegaard, 2000). De plus et afin de réduire la production de boues par l'augmentation de la capture de la matière particulaire dans le processus de clarification plutôt que celui du traitement des boues générées (Liu et al., 2001), le procédé de microtamisage utilisé en traitement secondaire représenterait une barrière physique pour la capture de la matière particulaire. En effet en plus d'être compact, le microtamisage permettrait de réduire les MES et la DCO.

Le but de ce projet de recherche est donc de vérifier si le filtre à disques (Hydrotech) pourrait remplacer un décanteur secondaire pour la clarification de l'effluent de MBBR, ce qui

représenterait pour les municipalités une alternative qui permettrait de réduire les coûts et permettrait de respecter les exigences de rejet qui deviennent de plus en plus rigoureuses.

Le présent mémoire s'inscrit dans le cadre d'un projet global intitulé « Faible production de boues en bioréacteur à membranes » réalisé par le Laboratoire de génie de l'environnement (LGE) qui fait partie du CREDEAU, en collaboration avec John Meunier Inc. (Ville Saint-Laurent), EnviroSim Associates et la Ville de St-Hyacinthe.

1.2 Hypothèse scientifique originale et objectifs du projet

1.2.1 Objectif général

L'objectif général de ce mémoire est d'évaluer l'efficacité d'enlèvement des MES par un filtre à disques avec et sans ajout de sel métallique et/ou de polymère pour la clarification d'un effluent de MBBR.

1.2.2 Hypothèse scientifique originale

Le microtamisage d'un effluent de MBBR avec ou sans ajout de sel métallique et/ou de polymère permet d'atteindre la cible moyenne de 15 mg MES/L.

Cette hypothèse est originale parce qu'elle permettrait de réduire la production de boues par l'augmentation de la capture de la matière particulaire dans le processus de clarification plutôt que celui du traitement des boues générées et aussi de remplacer le décanteur secondaire par un procédé compact (filtre à disques) tout en respectant l'exigence minimale de rejet environnemental relative aux MES de 25 mg/L à l'effluent.

1.2.3 Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques de ce mémoire sont les suivants :

- déterminer l'impact de la taille des mailles d'un microtamis sur la capture des MES, et
- déterminer l'impact de l'ajout de coagulant et/ou de polymère cationique sur la concentration des MES à l'effluent du microtamis (tamisat)

1.3 Organisation du mémoire

Après l'exposition de la problématique liée à la qualité de l'effluent de MBBR, et l'identification des objectifs visés par ce projet (Chapitre 1), une revue de littérature résumant l'ensemble des procédés utilisés dans la clarification des effluents de MBBR sera présentée au Chapitre 2, avec plus de détail sur le procédé choisi dans ce mémoire (microtamisage). La méthodologie qui a été utilisée durant les essais de laboratoire et les essais pilotes (Filtre à disque, Hydrotech) a été détaillée au Chapitre 3. Les principaux résultats obtenus sont présentés au chapitre 4 et en Annexe et sont discutés au Chapitre 5. Enfin, une conclusion générale a été émise avec des recommandations pour des travaux futurs.

CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE

Cette revue de littérature vise premièrement à définir les objectifs de l'épuration des eaux usées à tous ses niveaux de traitement, c'est-à-dire du prétraitement jusqu'au traitement tertiaire ou final, et deuxièmement à identifier les principaux procédés utilisés pour la clarification des effluents de MBBR, avec un aperçu sur l'efficacité de chacun par rapport à l'abattement des MES. Finalement le procédé de clarification de l'effluent MBBR choisi pour le présent projet (coagulation et /ou floculation et microtamisage) sera revu avec plus de détails.

2.1 Objectifs du traitement des eaux usées

L'objectif principal du traitement des eaux usées est de réduire ou éliminer les contaminants présents dans les effluents avant leur rejet dans le milieu récepteur et respecter ainsi les exigences de rejet environnemental. Selon l'origine des eaux usées, une chaîne de traitement sera mise en place afin d'atteindre des cibles préétablies. Typiquement, le procédé de traitement des eaux usées sera composé de plusieurs niveaux : prétraitement, primaire, secondaire et tertiaire, et lorsque c'est nécessaire un niveau avancé peut s'ajouter. Les objectifs de chaque niveau de traitement sont décrits au Tableau 2-1.

Tableau 2-1 : Objectifs des différents niveaux de traitement des eaux usées (adapté de M&E, 2003)

Niveau du traitement (procédé)	Objectif du traitement
Prétraitement (e.g. dégrillage, dessablage, déshuilage et dégraissage)	Enlèvement des particules grossières (matières flottantes, chiffons et autres impuretés) et des graisses qui risqueraient de nuire au bon fonctionnement des équipements en aval
Primaire (décantation)	Enlèvement d'une fraction des matières en suspension et de la matière organique.
Primaire avancé (coagulation- floculation)	Enlèvement amélioré des matières en suspension et de la matière organique à l'aide de produits chimiques.
Secondaire (e.g. biofiltres, boues activées)	Enlèvement de la matière organique biodégradable et des matières en suspension. La désinfection peut aussi faire partie du traitement secondaire conventionnel.
Tertiaire	Enlèvement des matières en suspension résiduelles (après un traitement secondaire). Typiquement la désinfection fait partie du traitement tertiaire. L'enlèvement des éléments nutritifs (azote et phosphore) est souvent inclus dans cette fonction.
Avancé	Enlèvement des matières en suspension et dissoutes restantes après un traitement biologique normal quand la réutilisation de l'eau traitée est requise pour certaines applications.

2.2 Traitement par bioréacteur à lit mobile

Le procédé MBBR utilise un média mobile comme substrat pour favoriser la croissance de la biomasse (Figure 2-1). Le biofilm formé à la surface du média, regroupera les bactéries responsables de la décomposition des produits carbonés et azotés.



Figure 2-1 : Supports Anox Kaldnes K3 (Veolia Water)

Ces médias en polyéthylène d'une densité proche de celle de l'eau ($0,95 \text{ g/cm}^3$), et d'un diamètre de 25 mm, sont maintenus en mouvement et mélangés avec l'affluent dans un réacteur muni d'un tamis situé au niveau de son orifice de sortie afin de retenir les supports (Figure 2-2).



Figure 2-2 : Grille de rétention des supports (Canler, 2012)

Un système d'aération ou un dispositif mécanique assureront la circulation constante dépendamment des conditions aérobies ou anoxies recherchées (Figure 2-3).

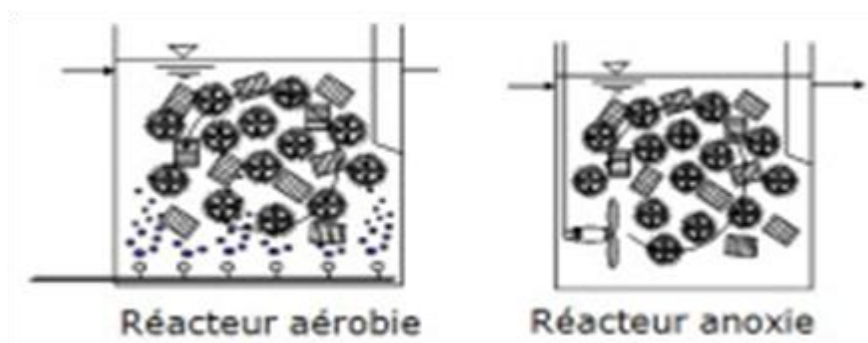


Figure 2-3 : Type de bioréacteur MBBR (Veolia Water)

Le procédé MBBR peut être utilisé pour la réduction de la charge polluante DCO/DBO, la nitrification et la dénitrification, en utilisant plusieurs bassins selon la nature de l'affluent à traiter.

2.3 Clarification des effluents de MBBR

L'effluent du MBBR est caractérisé par une faible concentration de MES (150-200 mg/L) qui est constituée principalement de matière particulaire biodégradable non assimilée par les bactéries ainsi que de la biomasse excédentaire (Odegaard et al., 1994). Suivant la cible visée à l'effluent, le procédé de clarification pourrait être soit un traitement secondaire classique ou combiné avec d'autres procédés (voir Tableau 2-2). Les principaux procédés de clarification des effluents de MBBR sont les suivants :

- floculation (polymère cationique) + décantation (en aval d'un MBBR);
- coagulation (sel métallique) + floculation (polymère cationique) + flottation;
- filtration sur un filtre multimédias (multicouches) avec ou sans polymère;
- microtamisage et
- floculation (polymère cationique) + microtamisage.

Tableau 2-2 : Sommaire des procédés de clarification des effluents de MBBR

No	MES effluent MBBR mg/L	MES effluent clarifié mg/L	Abattement %	Procédé de clarification	Caractéristiques	Référence
1	-	-	85	Floculation (polymère cationique) + décantation	2 mg Polym./L (Polymère cationique haute masse moléculaire)	(Odegaard, 2000)
2	111	14	88	Coagulation (Fe Cl ₃) + floculation (polymère cationique) + Flottation	16.8 mg Fe/L + 3 mg Polym./L	(Melin et al., 2002)
3	230	35	85	Filtre multimédias KFS ⁽¹⁾ sans polymère	Filtration sur un filtre multicouches (gravier + sable) avec ou sans polymère	(Liao et al., 2003)
	95	11	88	Filtre multimédias KFS + polymère		
4	10 - 50	2 - 5	80 - 90	Microtamisage (filtre à disques)	Ø tamis = 10 µm	Persson et al., 2006)
		2 - 8	80 - 84		Ø tamis = 18 µm	
5	30.5	3.5	89	Microtamisage (filtre à disques)	Ø tamis = 10 µm	Mattsson et al., 2009)
	27.5	5	82		Ø tamis = 20 µm	
6	150 - 200	< 10	93 - 95	Floculation (polymère cationique) + microtamisage (filtre à disques)	5 - 7 mg Polym./L et Ø tamis = 40 µm	(Odegaard et al., 2010)

⁽¹⁾ Kaldnes-Filtralite-Sand

2.3.1 Coagulation ou floculation + décantation

La coagulation ou la floculation est généralement utilisée en amont d'un décanteur secondaire

afin d'améliorer la décantabilité des effluents à traiter. La coagulation, avec un sel métallique, de l'effluent d'un traitement biologique suivi d'une décantation permet d'atteindre des rendements d'abattement des MES entre 50 et 80 % (Qasim, 1999). Une alternative pour réduire la concentration des MES est la floculation, en ajoutant un polymère cationique à haute masse moléculaire et à faible concentration (2 mg/L), afin d'atteindre des rendements d'abattement des MES de l'ordre de 85 % (Odegaard, 2000). Le procédé de floculation et de décantation de l'effluent de MBBR est illustré en Figure 2-4

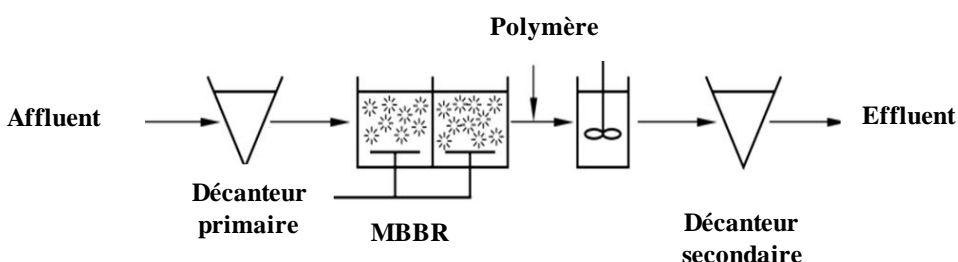


Figure 2-4 : Schéma du procédé de floculation et décantation de l'effluent de MBBR (adapté d'Odegaard, 2000)

2.3.2 Coagulation + floculation + flottation

Ce procédé est basé sur la coagulation et la floculation de l'effluent MBBR à l'aide d'un sel métallique (FeClSO_4) et d'un polymère cationique. L'effluent floculé est ensuite séparé à l'aide d'un flottateur. L'abattement observé des MES est de 88 % (Melin et al., 2002), avec des concentrations à l'effluent traité de 14 mg MES/L (effluent MBBR = 111 mg MES/L). Le schéma du procédé est présenté à la Figure 2-5.

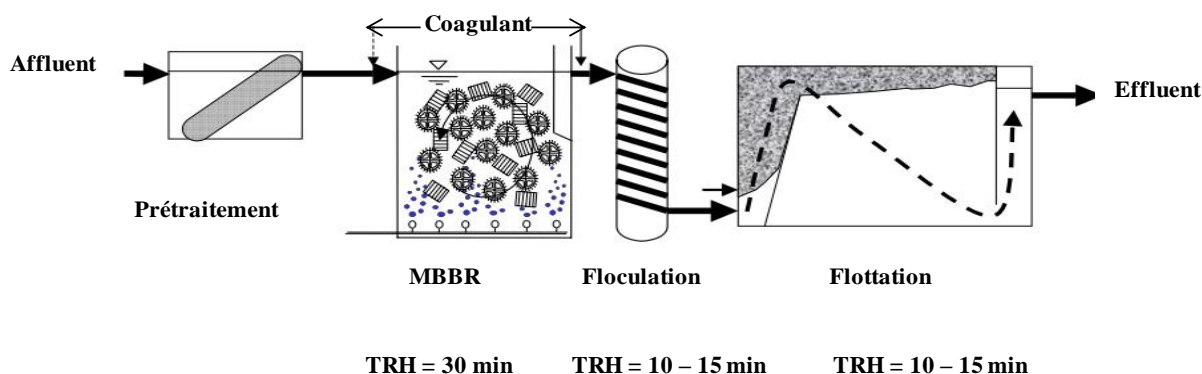


Figure 2-5 : Schéma du procédé de coagulation - floculation et flottation (adapté de Melin et al., 2002)

2.3.3 Filtration sur un filtre multicouche avec ou sans polymère

Le filtre multicouches KFS (No 3 du tableau 2-2) installé en aval du réacteur MBBR avec ou sans ajout de produits chimiques (Figure 2-6) permet l'enlèvement de la DCO et des MES. l'ajout de polymère cationique à haut poids moléculaire à des doses de 2 mg/L avec une charge superficielle de 10 m/h, permet l'augmentation de l'efficacité d'enlèvement des MES de 85 à 88 % pour obtenir des concentrations respectives à l'effluent entre 35 et 11 mg MES/L (Liao et al., 2003). Le schéma du procédé est présenté en Figure 2-6.

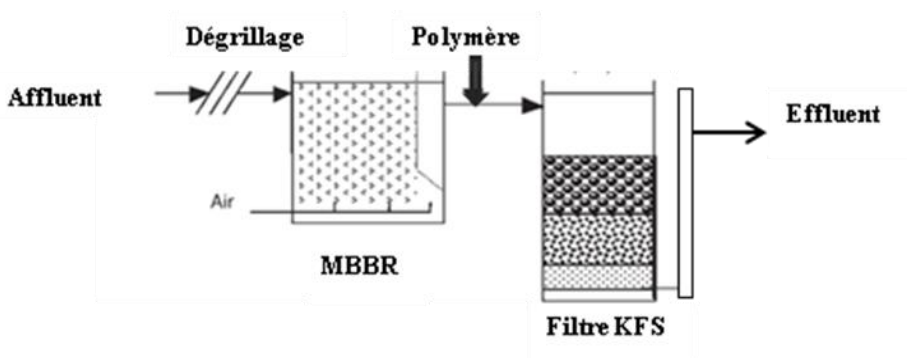


Figure 2-6 : Schéma du procédé de filtration sur le filtre KFS (adapté de Liao et al., 2003)

2.3.4 Floculation et microtamisage

Les caractéristiques de l'effluent de MBBR (décantation difficile des MES) discutées lors de la mise en contexte (paragraphe 1.1) laissent penser à l'ajout d'un autre procédé afin d'augmenter la décantabilité de l'effluent de MBBR. Selon l'étude menée par Odegaard et al (Odegaard et al., 2010) les procédés de coagulation et/ou floculation placés en amont d'un filtre à disques ont permis d'augmenter le rendement d'élimination des MES d'un effluent de MBBR. En effet des concentrations à l'effluent du filtre à disques inférieures à 10 mg MES/L (concentration à l'effluent MBBR entre 150 et 200 mg MES/L) ont été obtenues en utilisant un microtamis de 40 μm et une dose entre 5 et 7 mg polymère/L. Le schéma du procédé est présenté à la Figure 2-7.

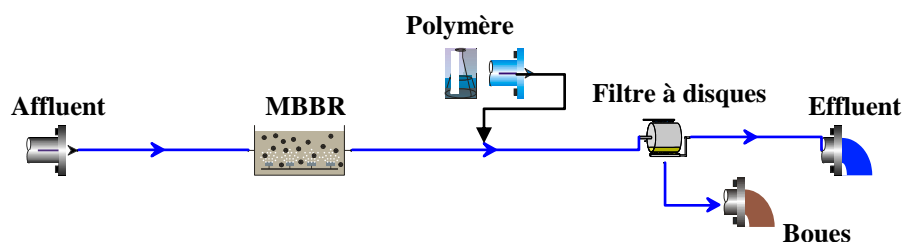


Figure 2-7 : Schéma du procédé de floculation et microtamisage

2.4 Coagulation

La coagulation représente l'ensemble des phénomènes physico-chimiques visant à déstabiliser une solution de particules très petites de charge négative, appelées colloïdes ($\emptyset < 1 \mu\text{m}$), et favoriser leur agglomération (Prévost, 2010). Généralement les particules colloïdales possèdent une charge électrique négative et identique, ce qui les amène à se repousser et ne pas former de floccs facilement décantables.

La couche liée qui se déplace avec la particule est formée suite à la neutralisation de la charge négative à la surface de la particule par les ions positifs présents en solution (théorie de Helmholtz). Les ions négatifs inégalement répartis sont attirés par la couche liée afin de former la couche diffuse qui ne se déplace pas avec la particule. Les deux couches sont représentées à la Figure 2-8. Le potentiel de Nernst est le potentiel à la surface de la particule tandis que le potentiel électrostatique mesuré au plan de cisaillement (limite entre la partie de la solution qui se déplace avec la particule et celle qui se déplace indépendamment de la particule) est appelé potentiel zêta. La coagulation vise principalement à éliminer le potentiel zêta (C. Desjardins, 1999).

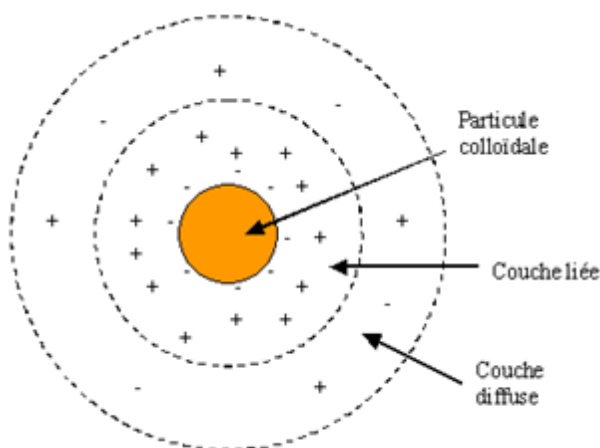


Figure 2-8 : Double couche d'une particule colloïdale (adapté de Desjardins, 1997)

Le mécanisme de la coagulation s'effectue de l'une des façons suivantes :

- compression de la double couche;
- adsorption et neutralisation des charges;
- emprisonnement des particules dans un précipité et

- adsorption et pontage.

2.4.1 Compression de la double couche

L'agglomération des particules peut être favorisée soit par la diminution du potentiel de répulsion entre les particules (augmentation de la force ionique), soit par l'augmentation de l'énergie cinétique. La force ionique est représentée par l'équation suivante :

$$\mu = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n C_i Z_i^2 \quad (2.1)$$

où, μ = force ionique de l'eau

C_n = concentration de l'ion n (mol/L)

Z_n = valence de l'ion n

Néanmoins, la théorie de la double couche n'explique pas le phénomène de restabilisation des particules lorsqu'on augmente la quantité de coagulant (Desjardins, 1997).

2.4.2 Adsorption et neutralisation des charges

Le phénomène de restabilisation pourrait s'expliquer par un surdosage de coagulant qui entraînerait l'adsorption de cations (issus du coagulant) et inverserait la charge des particules qui deviendrait positive (Amirtharajah et al., 1990).

2.4.3 Emprisonnement des particules dans un précipité

L'ajout de coagulants qui sont des sels métalliques trivalents ($Al_2(SO_3)$ ou $FeCl_3$) permet d'obtenir un précipité nommé floc ($Al(OH)_3$ ou $Fe(OH)_3$) à pH neutre ou acide. Le floc formé emprisonnerait les particules négatives et les entraînerait durant l'étape de décantation (Desjardins, 1999).

2.4.4 Adsorption et pontage

L'utilisation de polymères anioniques, cationiques ou non-anioniques possédant une masse moléculaire élevée et une longue chaîne permet l'adsorption d'un colloïde à une extrémité tandis que l'autre extrémité demeurera libre pour d'autres colloïdes formant ainsi des ponts entre les particules. Le phénomène de restabilisation pourrait être observé s'il y a surdosage de polymère (Desjardins, 1997).

2.4.5 Principaux coagulant utilisés

Les coagulants utilisés pour déstabiliser les particules sont généralement les sels métalliques ou des coagulants préhydrolysés, parmi lesquels on retrouve :

- | | | |
|--|---|--------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • sulfate d'aluminium ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ (alun) • sulfate ferreux (FeSO_4) • sulfate ferrique ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) • chlorure ferrique (FeCl_3) | } | Sels métalliques |
| <ul style="list-style-type: none"> • PASS (poly aluminium silicate sulfate) • PACl (poly aluminium chloride) | } | Coagulants préhydrolysés |

2.5 Flocculation

La flocculation est l'ensemble des phénomènes physico-chimiques favorisant le contact entre particules déstabilisées menant à leur agrégation pour former des floes. La mobilité des particules est assurée soit par mouvement brownien (flocculation péricinétique), soit par le brassage mécanique (flocculation orthocinétique) (Desjardins, 1999). Le principe de la flocculation est présenté à la Figure 2-9.

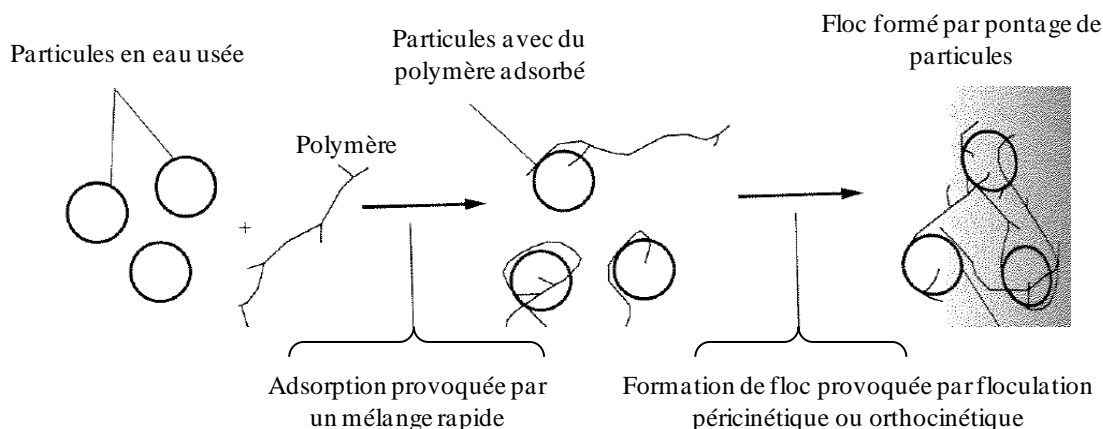


Figure 2-9 : Principe de la flocculation (adapté de M&E, 2003)

2.5.1 Floculation péricinétique

Le contact entre les particules est causé par leur mouvement aléatoire appelé mouvement brownien qui dépend de la température de l'eau. Le nombre de particules varie selon l'équation suivante :

$$F_p = \frac{dN}{dt} = - \frac{4\Gamma k\Theta(N)^2}{3\eta} \quad (2.2)$$

où F_p : taux de floculation

N : nombre de particules/m³

Γ : facteur d'efficacité des collisions

k : constante de Boltzman ($1.38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$)

Θ : température absolue (K)

η : viscosité dynamique (Pa s)

Le taux de floculation péricinétique est important lorsque la taille des particules est inférieure à 1 micron (Desjardins, 1999).

2.5.2 Floculation orthocinétique

La floculation orthocinétique est provoquée par l'agitation de l'eau qui augmenterait la probabilité de collision entre les particules facilitant ainsi leur agrégation. Le taux de floculation est décrit selon l'équation suivante :

$$F_p = \frac{dN}{dt} = - \frac{2\Gamma G d^3 N N_o}{3} \quad (2.3)$$

où, F_p : taux de floculation

N : nombre de particules/m³

Γ : facteur d'efficacité des collisions

d : diamètre des particules (m)

G : gradient de mélange (s⁻¹)

Le gradient de vitesse est défini selon l'équation (Camp et Stein, 1943) :

$$G = \sqrt{\frac{P}{\eta B}} \quad (2.4)$$

où P : puissance transmise au fluide (W ou N.m/s ou J/s)

η : viscosité dynamique (Pa.s)

B : volume du bassin (m³)

L'agitation doit être énergique si l'objectif est d'obtenir une floculation orthocinétique équivalente à la floculation péricinétique pour les petites particules (gradient G élevé). Cependant, pour les grosses particules il suffit d'appliquer une agitation relativement faible pour avoir une floculation orthocinétique acceptable (Desjardins, 1997).

2.5.3 Polymères utilisés

Les polymères (ou polyélectrolytes) sont des composés de haut poids moléculaire à structures linéaires et solubles dans l'eau et peuvent être sous forme solide, en billes ou en solution. Les polymères peuvent être non-ioniques, anioniques (négatifs) ou cationiques (positifs) et seront considérés primaires si leur poids moléculaire (PM) est moins de 500 000 ou flocculants si leur PM est plus de 5 000 000. La plupart des polymères sont synthétiques et certains sont naturels (Prévost, 2010). Les polymères cationiques et non-anioniques sont présentés à la Figure 2-10.

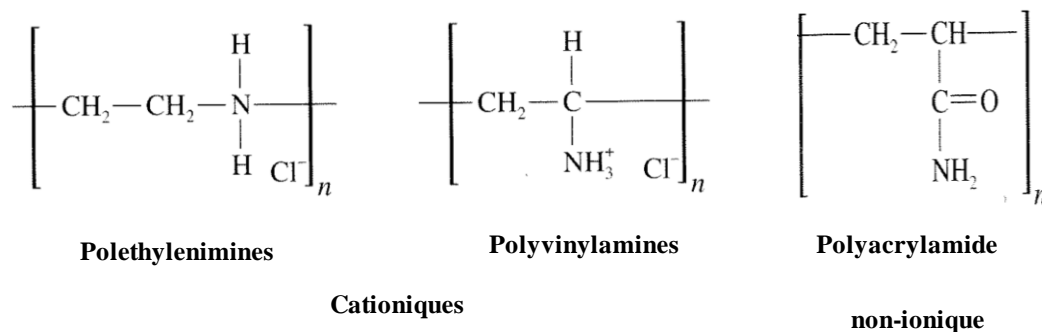


Figure 2-10 : Types de polymères utilisés en floculation

2.6 Facteurs influençant la coagulation et floculation

Les facteurs qui peuvent influencer la coagulation sont :

- pH : qui doit être compris dans une zone optimale de 4 à 6 pour les sels de fer et entre 5 et 7 pour les sels d'aluminium (Prévost, 2010);
- température : la diminution de la température augmente la viscosité de l'eau et rend la décantation du floc difficile. Le bris de floc est favorisé et la plage de pH optimale est rétréci (Desjardins, 1997);
- temps de mélange : la coagulation nécessite un mélange vigoureux et de courte durée (maximum 120s) afin de disperser de façon uniforme le coagulant, tandis que la floculation nécessiterait un mélange lent d'une durée moyenne de 5 à 60 min (Prévost, 2010);
- type de coagulant : le choix du coagulant ainsi que de sa dose se fait à l'aide de jar-tests. Généralement les sels de fer sont utilisés pour traiter les eaux riches en matières organiques (Prévost, 2010); et
- sels dissous : la présence de sels dissous modifiera le temps de floculation, la plage de pH optimal et la dose de coagulant requis.

2.7 Réduction de la production de boues

Les boues produites pendant la coagulation proviennent de l'abatement des MES et de la précipitation des boues chimiques. Odegaard et Karlsson (Odegaard et al., 1994) ont expliqué ce phénomène par la formule suivante:

$$PB = \text{MES AFF} - \text{MES TAM} + K_{\text{prec}} * D \quad (2.5)$$

PB : production de boues (g MES/m³)

K_{prec} : coefficient de production de boues (g MES/g Me), dont les valeurs typiques sont de 4 (g MES/g Fe) et 6 (g MES/g Al)

D : dose du coagulant (g Me/m³)

En absence de coagulant, c'est à dire lorsque $K_{\text{prec}} * D$ est égal à zéro, la production de boues sera réduite. Si l'objectif de la coagulation est de réduire uniquement les MES et non le phosphore

l'utilisation d'un polymère cationique serait plus intéressante (Odegard, 2000).

2.8 Microtamisage

Le microtamisage est une technique de séparation physique des particules présentes dans l'eau à traiter. Grâce à une membrane poreuse ou une toile de fils ou de fibres le microtamis est capable de retenir le plancton, les grosses particules et les particules de matières organiques. Cependant le microtamis ne peut pas intercepter ni les éléments minéraux fins, ni les éléments colloïdaux minéraux et organiques, ni les substances dissoutes (Prévost, 2011; Desjardins, 1997). Les différentes tailles de particules et les procédés d'élimination utilisés sont présentés à la Figure 2-11.

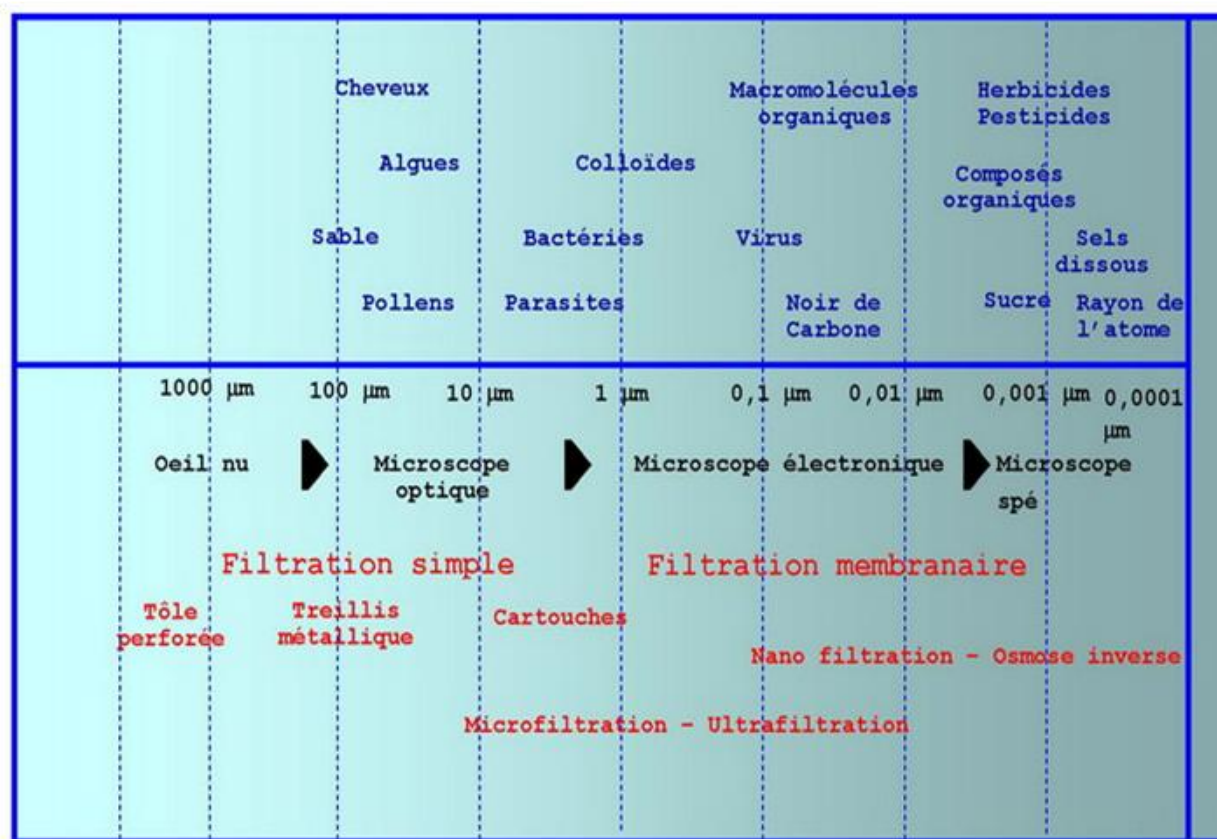


Figure 2-11 : Taille des particules et procédé utilisé (DLK Technologies)

Le microtamisage utilise deux mécanismes de captage de particules, soit directement par les mailles du microtamis (les particules plus grosses que la maille de la toile sont retenues) soit indirectement par l'accumulation de particules et de floes qui formeront un gâteau de solides aidant ainsi le procédé de filtration, et c'est ce qui explique la rétention de particules plus petites

que les mailles du tamis. Ce phénomène a été rapporté par Ljunggren (Ljunggren, 2006) qui avait noté que la séparation effective avec le filtre à disques durant le procédé de polissage d'un effluent, s'effectue tout d'abord sur les particules plus grandes que l'ouverture des pores du tamis (% de séparation au maximum), tandis que la séparation des particules plus petites que l'ouverture des pores s'effectuera par l'accumulation des particules (gâteau) qui réduirait l'ouverture des pores pendant le procédé de filtration (Figure 2-12).

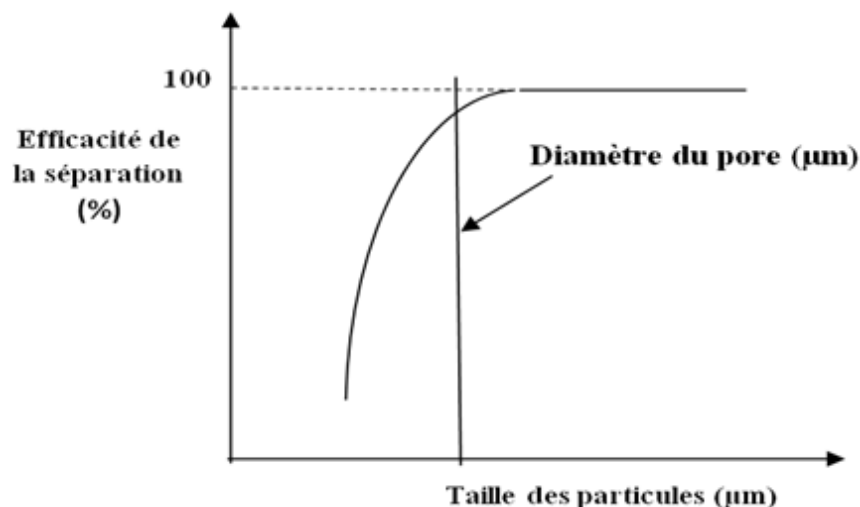


Figure 2-12 : Efficacité de séparation des particules en fonction de la taille des particules (filtre à disques)
(Adapté de Ljunggren, 2006)

En traitement des eaux usées municipales le microtamisage est utilisé pour la séparation de particules dans la phase du traitement primaire et tertiaire (secondaire dans certaines publications) ainsi que dans des applications connexes telles que le traitement des eaux pluviales (Ljunggren, 2006).

Parmi les modèles de microtamis utilisés sur le marché on retrouve :

- le filtre à disques (Figure 2-13a) et
- le filtre à tambour (Figure 2-13b).



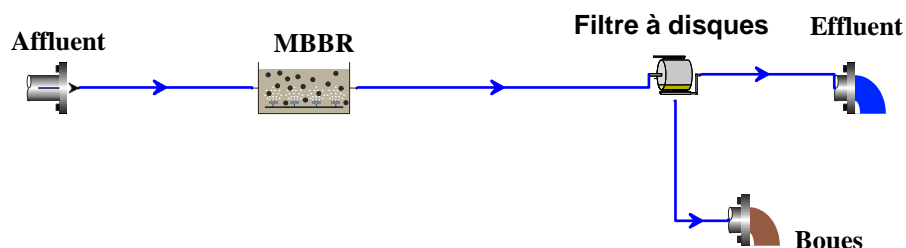
Filtre à disques (a)



Filtre à tambour (b)

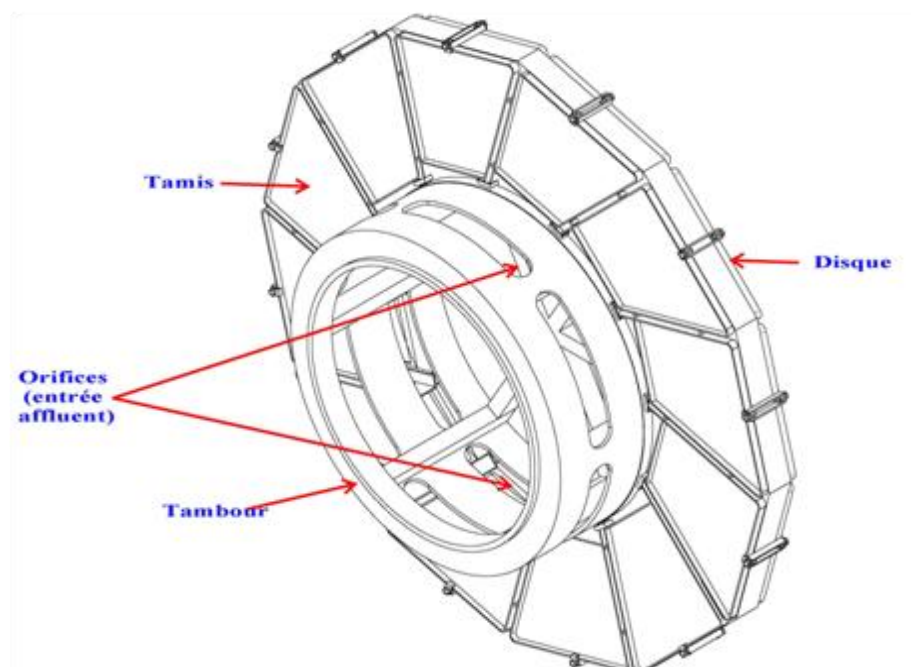
Figure 2-13 : Microtamis produits par Hydrotech

La principale différence entre les deux tamis est la surface filtrante qui est plus importante pour le filtre à disques en raison du nombre de disques qui peuvent être ajoutés ce qui permet d'obtenir un débit de filtration 2 à 3 fois plus important que celui des filtres à tambour ayant les mêmes dimensions (*Véoliawater solutions & technologies*, 2012) L'utilisation de filtres à disques pour le polissage d'effluents est devenue plus courante dans les usines municipales de traitement des eaux usées. Ce procédé compact a donné de bons résultats de séparation des particules des effluents de MBBR. Person et al. (2006) ont rapporté des concentrations à l'effluent de 2 à 5 mg MES/L (concentration de l'effluent MBBR entre 10 et 50 mg MES/L) d'un filtre à disques utilisant un tamis de 10 μm . tandis que pour un tamis de 18 μm , les valeurs obtenues à l'effluent du filtre à disques étaient entre 2 et 8 mg MES/L. Une autre étude réalisée par Mattsson et al. (2009) a permis de confirmer les résultats obtenus par Persson et al. (2006) et de rajouter l'efficacité du filtre à disques lorsque le tamis de 20 μm est utilisé. De ce fait la concentration à l'effluent du filtre à disques de 5 mg MES/L (concentration de l'effluent MBBR de 30.5 mg MES/L) a été obtenue durant ces essais, ce qui représente un rendement d'élimination des MES de 82%. Le schéma du procédé est présenté à la Figure 2-14.

**Figure 2-14 : Schéma du procédé de clarification par un filtre à disques**

2.8.1 Principe de fonctionnement du filtre à disques Hydrotech

Dans un filtre Hydrotech, l'eau s'écoule par gravité dans un tambour central, sur lequel sont installés les disques recouverts de panneaux avec tamis (Figure 2-15). Les tamis montés sur les deux côtés des disques partiellement immergés séparent les solides de l'eau, laissant l'eau tamisée (tamisat) s'écouler à travers le tamis (de l'intérieur vers l'extérieur) dans la cuve de collecte (Figure 2-16). L'accumulation des solides sur les tamis des disques crée une résistance à l'écoulement (perte de charge) qui se traduit par une élévation du niveau d'eau à l'intérieur du tambour. Une sonde de niveau installée à l'entrée du filtre sert à déclencher le rétrolavage automatique pour une durée programmée avec rotation des disques (vitesse de rotation = 0.3 m/s) et à l'aide de buses placées au-dessus de chaque côté des disques. Les solides détachés sous l'effet des jets sont récupérés par une goulotte installée à l'intérieur du tambour (Persson et al., 2006). Le principe de fonctionnement du filtre à disques est détaillé à la Figure 2-16.



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Figure 2-15 : Schéma du tambour avec un disque

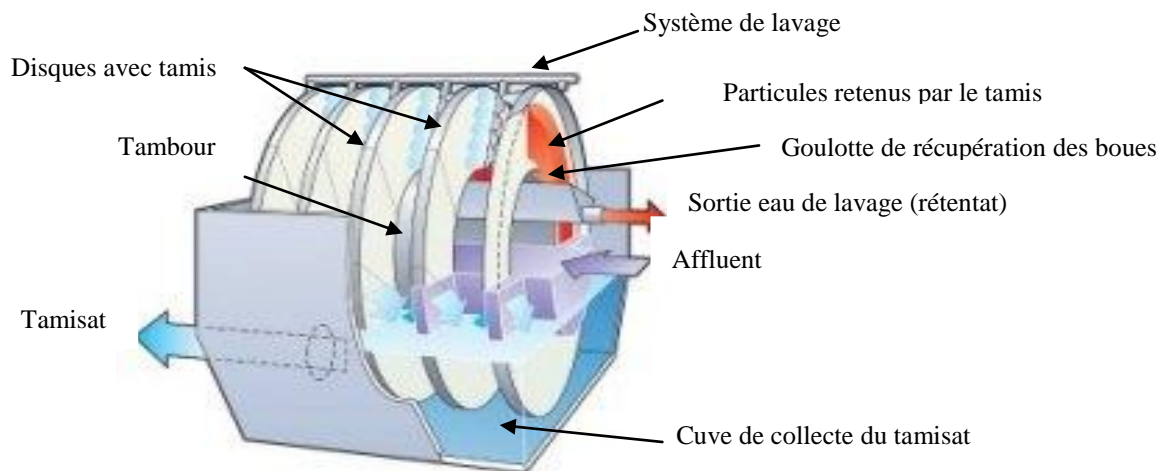


Figure 2-16 : Principe de fonctionnement du filtre à disques hydrotech (adapté de Persson et al. 2006)

Il est important de noter que :

- la filtration ne s'arrête pas durant le rétrolavage;
- le tamisat est utilisé pour le rétrolavage;
- le débit d'eau du rétrolavage représente typiquement entre 1 et 2% du débit total (Persson et al., 2006) et
- la pression au niveau des buses de rétrolavage est entre 7 et 8 bars.

Afin de comprendre le fonctionnement du filtre à disques certaines notions sont définies ci-après.

2.8.2 Pression différentielle

La pression différentielle est la différence de niveau d'eau entre l'intérieur et l'extérieur du disque (Figure 2-17). La pression différentielle maximale admissible pendant le fonctionnement normal du filtre à disques se situe entre 250 et 300 mm (Persson et al., 2006).

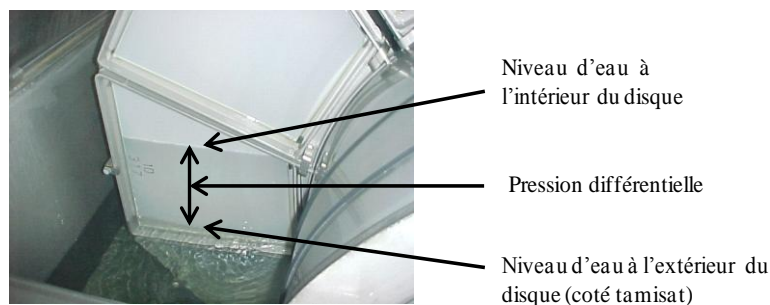


Figure 2-17 : Pression différentielle dans un filtre à disques (Veolia Water)

2.8.3 Charge hydraulique superficielle

La charge hydraulique superficielle (Chs) ou la charge superficielle est définie comme étant le rapport :

$$\text{Chs} = Q / A \quad (2.6)$$

où,

Q : débit d'écoulement (m^3/h)

A : la superficie filtrante totale du tamis (m^2) (Hydrotech, 2008)

Chs : charge superficielle ($\text{m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)

La Chs est souvent identifiée comme étant la vitesse à laquelle l'eau s'écoule à travers le tamis et exprimé en m/h. Certains auteurs (Desjardins, 1997) utilisent la surface mouillée (entre 50 et 65% de la surface totale du tamis) pour calculer la charge superficielle.

2.8.4 Pourcentage de lavage

Le pourcentage de lavage B_{lav} est défini comme suit :

$$B_{lav} = \frac{t_{lav}}{t_{tot}} \quad (2.7)$$

$$\text{où,} \quad t_{tot} = t_{lav} + t_{stat} \quad (2.8)$$

t_{lav} = durée de lavage (s)

t_{tot} = durée d'un cycle complet de filtration entre deux lavages (s)

t_{stat} = durée de filtration statique (s)

B_{lav} = pourcentage de lavage (s/s)

Le pourcentage de lavage permet l'estimation de la capacité maximale du filtre et serait un indicateur du colmatage à long terme.

2.8.5 Indice de filtrabilité

L'indice de filtrabilité (I) mesure le pouvoir colmatant d'une eau et se calcule selon la formule suivante :

$$I = \frac{\ln H - \ln H_0}{\beta} \quad (2.9)$$

où, H : perte de charge (m)

H_0 : perte de charge initiale (m)

β : Volume d'eau microtamisée/ unité de surface ($\text{m}^3/\text{m}^2 = \text{m}$)

L'indice de filtrabilité sera déduit graphiquement de la courbe de la variation du logarithme naturel de la perte de charge ($\ln H$) en fonction du volume microtamisé (β) (Figure 2-18).

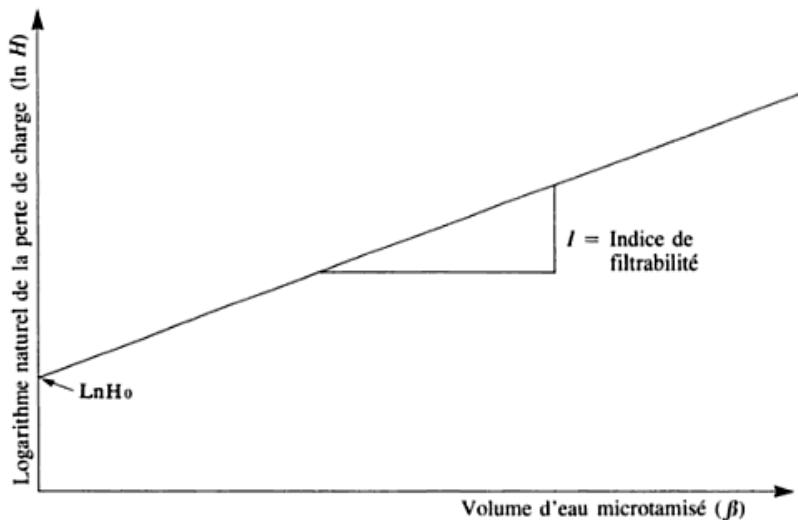


Figure 2-18 : Variation des pertes de charge en fonction du volume d'eau filtré (Desjardins, 1997)

L'augmentation des pertes de charge suit une relation du premier ordre (éq 2.1) sauf pour deux exceptions :

- Crevaision

La crevaision est la rupture du dépôt (gâteau) qui s'est formé suite à l'accumulation des particules à la surface du tamis. Suite à l'augmentation des pertes de charge, la colonne d'eau exerce une poussée qui finira par briser le dépôt (R. Desjardins, 1997). Le phénomène de crevaision est illustré sur la Figure 2-19.

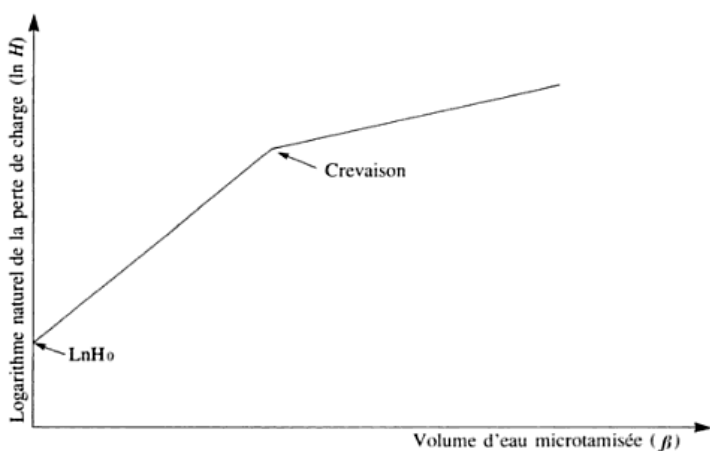


Figure 2-19 : Crevaion du microtamis (Desjardins, 1997)

- Délai de filtration

Le délai de filtration est observé lorsque des grosses mailles du microtamis sont utilisées pour microtamiser une eau chargée de petites particules. Ce délai représenterait le temps nécessaire pour que le dépôt soit formé et que les pertes de charge suivent la variation linéaire (éq 2.1 et Figure 2-13). Le délai de filtration est illustré sur la Figure 2-20.

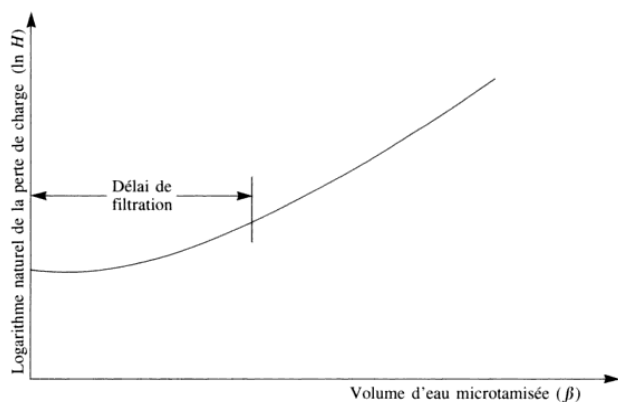


Figure 2-20 : Délai de filtration (Desjardins, 1997)

CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE

3.1 Eaux usées

La station d'épuration (STEP) gérée par la Régie d'assainissement des eaux usées Terrebonne/Mascouche, dessert les résidents de la basse terrasse de Mascouche ainsi que les citoyens de Lachenaie (ville de Terrebonne). La station traite un débit d'eau moyen annuel de 28 000 m³/d (année 2012) utilisant une filière de traitement composée de :

- dégrillage automatique avec convoyeur à vis et compacteur-laveur;
- étang aéré complètement mélangé (étang no.1);
- réacteur MBBR;
- bassin aéré;
- étangs d'entreposage des boues et de polissage (étangs n° 2 et n° 3) et
- étang pour la déphosphatation (étang n°. 4).

Le schéma de la filière de traitement de la station d'épuration Terrebonne/Mascouche est présenté à la Figure 3-1.

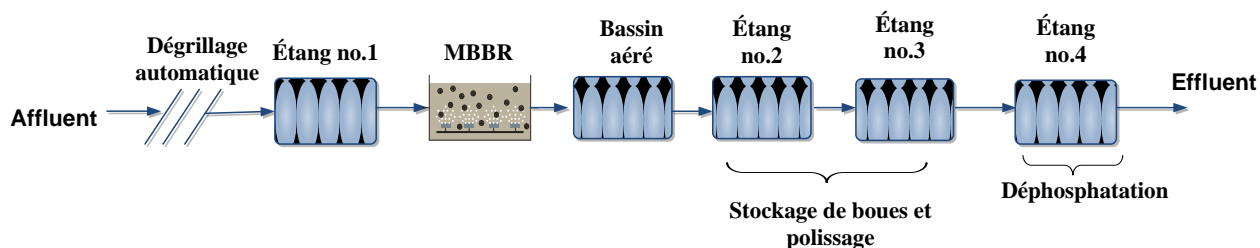


Figure 3-1 : Schéma de la filière de traitement de la STEP de Terrebonne/Mascouche

3.2 Essais de laboratoire

3.2.1 Matériel

Le matériel utilisé durant les essais de laboratoire est composé de :

- 6 béciers carrés de 2 litres pour les essais de Jar test (phase 1 et 2)
- 1 bécier carré de 2 litres avec valve (Figure 3-2) pour les essais de Jar test modifié (phase 3).

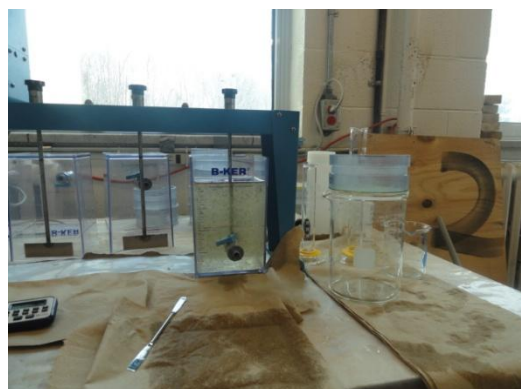
- toiles de plusieurs mailles (20, 40, 80, et 160 μm) en Nitex (tissu à mailles carrées en monofilament de nylon - produit de Filmar). Les toiles sont collées sur un support en PVC ($\varnothing = 6.6 \text{ cm}$) pour former les microtamis de laboratoire (Figure 3-3(a)).
- coupelles en aluminium.
- rampe d'agitation pour les essais de Jar test (Figure 3-3(b)).
- seringues (10 mL), micropipette et chronomètres.
- Coagulant et polymère.



Figure 3-2 : Bêcher de 2 litres avec valve pour les essais de Jar test modifié (phase 3)



(a) Microtamis



(b) Rampe d'agitation et bêchers

Figure 3-3 : Microtamis (a) et rampe d'agitation (b) pour effectuer le microtamisage de l'effluent MBBR

3.2.2 Coagulant

Le coagulant (coag.) utilisé durant les essais est le chlorure ferrique hydraté ($\text{FeCl}_3, 6\text{H}_2\text{O}$). La solution préparée a une concentration de 10 g Fe/L et sera conservée durant une semaine (Bratby, 2006).

- Préparation de la solution mère de coagulant (10g Fe/L): On fait dissoudre 4.84 g de coagulant ($\text{FeCl}_3, 6\text{H}_2\text{O}$) dans 100 mL d'eau distillée. La masse de coagulant (M.coag.) à dissoudre est calculée comme suit :

$$\text{M.coag. (g)} = \frac{\text{M.molaire coag.} \left[\frac{(\text{g FeCl}_3, 6\text{H}_2\text{O})}{\text{mole}} \right] * 10 \text{ g Fe} * 1 \text{ L} * 0.1 \text{ L}}{\text{M.molaire Fe} \left[\frac{(\text{g Fe})}{\text{mole}} \right] * 1 \text{ L} *}$$

(3.1)

$$\text{M.coag. (g)} = \frac{270.3}{55.8} * 100 = 4.84 \text{ g (FeCl}_3.6\text{H}_2\text{O)}$$

Exemple de calcul : Pour avoir une concentration de coagulant de 1 mg Fe/L dans un échantillon d'effluent de 2 litres, il faut injecter 200 μL de la solution mère.

$$\text{V coag.} = [2 \text{ (L)} / 10 * 10^3 (\text{mg Fe/L})] * 1 \text{ mg Fe/L} = 2 * 10^{-4} \text{ L} = 200 \mu\text{L de la solution mère.}$$

3.2.3 Polymère

Le polymère (polym.) utilisé pour les essais de laboratoire est un polymère cationique à haut poids moléculaire (polyacrylamide) produit de Kemira (C 492 HMW). La solution mère de polymère a une concentration de 0.1% et sera conservée pendant 24 heures.

- Préparation de la solution mère de polymère cationique : On fait dissoudre lentement 0.1 gr de polymère cationique dans 100 ml d'eau distillée (1 g polym./L) qu'on fait agiter à haute vitesse avec un barreau magnétique jusqu'à ce que la solution devienne gélatineuse.

Exemple de calcul : Pour avoir une concentration de polymère de 2 mg/L dans un échantillon d'effluent de 2 litres il faut injecter :

$$\text{V polym. (L)} = \frac{2 \text{ (L)}}{1000 (\text{mg polym./L})} * 2 \left(\text{mg} \frac{\text{polym.}}{\text{L}} \right)$$

(3.2)

$$\text{V polym.} = 0.004 \text{ L} = 4 \text{ ml}$$

3.2.4 Microtamisage sans ajout de produits chimiques

Afin de déterminer l'efficacité du microtamis sans coagulant et polymère, une procédure de microtamisage de l'effluent de MBBR a été mise en place. Les étapes de la procédure de microtamisage sont définies ci-dessous :

1. Préparer l'échantillon de l'effluent MBBR (10 L /batch);
2. Mélanger l'échantillon dans une chaudière de 20 litres (brassage pendant 1 minute) avant de remplir un bécher carré de 2 litres;
3. Préparer le microtamis avec une coupelle en aluminium modifiée (Figure 3-4) déposée à l'intérieur. Le microtamis sera ensuite déposé un bécher de 1 litre. La coupelle en aluminium sert à amortir la chute de l'eau sur le microtamis afin de lui donner un écoulement gravitaire;
4. Appliquer une courte agitation (10 sec) sur l'échantillon du bécher afin de remettre les particules en suspension;
5. Prendre le bécher et commencer le microtamisage (Figure 3-5) pour récupérer 1 litre de tamisat
6. Transvider le reste de l'échantillon (effluent MBBR) et le tamisat dans deux bouteilles identifiées;
7. Laver le microtamis avec du savon et rincer à l'eau chaude pour la prochaine étape de coagulation et floculation.



Figure 3-4 : Coupelle modifiée

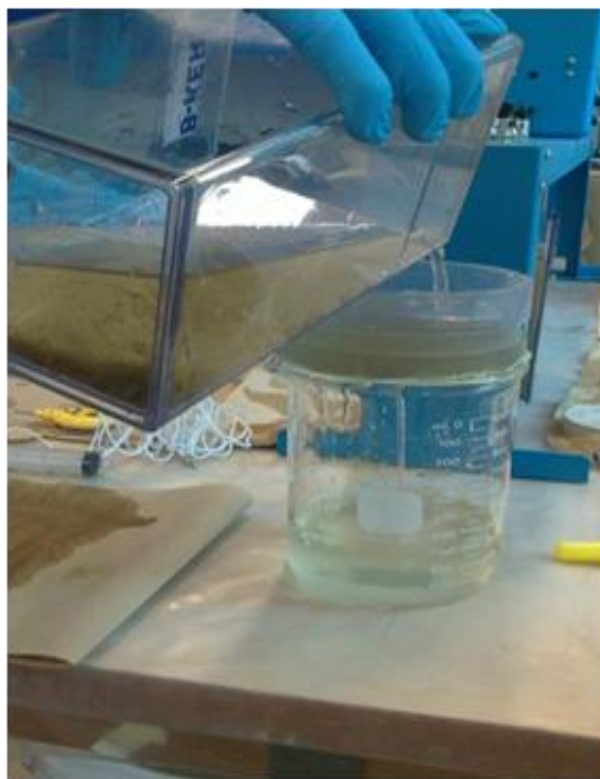


Figure 3-5 : Microtamisage de l'effluent MBBR

3.2.5 Coagulation-floculation et microtamisage

Afin de déterminer la dose de coagulant (sel métallique) et de polymère, ainsi que la taille du microtamis à utiliser durant l'étape de coagulation-floculation et microtamisage de l'effluent de MBBR, deux procédures de laboratoire ont été mises en place :

- jar test (sans décantation) et microtamisage.
- jar test (sans décantation) et microtamisage modifié.

3.2.5.1 Jar test et microtamisage

Les essais de Jar test et microtamisage pour chaque taille de microtamis, se sont déroulés en deux phases :

Phase 1 : varier la dose de polymère et maintenir la dose de coagulant constante.

Phase 2 : varier la dose de coagulant et maintenir la dose polymère constante.

3.2.5.1.1 Phase 1

1. Préparer l'échantillon de l'effluent MBBR (10 L /batch);
2. Mélanger l'échantillon dans une chaudière de 20 litres (brasser pendant 1 minute) avant de remplir un b cher carré de 2 litres;
3. Régler les chronomètres sur la durée de brassage de l'échantillon;
4. Préparer des seringues avec le polymère et une micropipette avec le coagulant;
5. Préparer le microtamis avec une coupelle en aluminium (installée à l'intérieur) et le déposer sur un autre b cher de 1 litre;
6. Placer le b cher carré avec l'échantillon sur la rampe d'agitation et démarrer l'agitation rapide à 230 rpm. Injecter simultanément la dose de coagulant. Agiter pendant 1 minute;
7. Diminuer la vitesse d'agitation à 45 tr/min, injecter rapidement la dose de polymère et agiter pendant 4 minutes;
8. Arrêter l'agitation;
9. Retirer le b cher de la rampe et remettre les floccs en suspension en agitant doucement l'échantillon coagulé et flocculé avec une spatule en verre afin de ne pas briser les floccs (Figure 3-6);

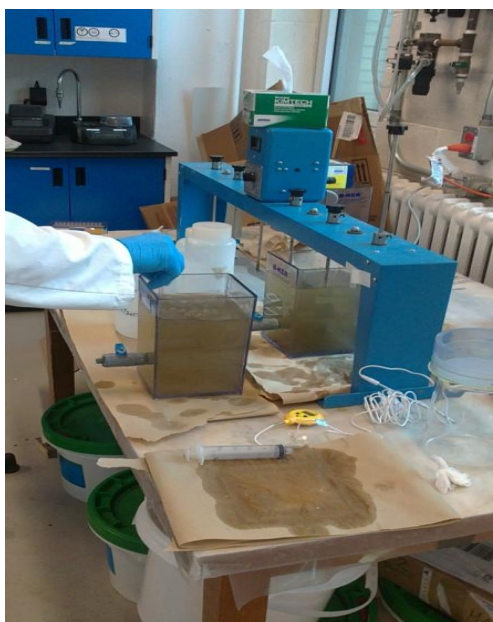


Figure 3-6 : Remise en suspension des floccs de l'effluent MBBR coagulé et flocculé

10. Commencer rapidement le microtamisage en déversant 1 litre de l'échantillon à l'intérieur du microtamis;
11. Transvider le reste de l'effluent coagulé et floculé ainsi que le tamisat dans deux bouteilles identifiées;
12. Tremper le microtamis dans une solution diluée d'hypochlorite de sodium pendant 5 minutes et laver ensuite avec de l'eau chaude;
13. Répéter les étapes de 2 jusqu'à 13 avec les autres doses de polymère;
14. Changer la taille de microtamis et refaire la procédure de microtamisage sans produits chimiques (section 3.2.2) suivie de la procédure de Jar test et microtamisage (phase 1).

3.2.5.1.2 Phase 2

1. Répéter les étapes de 1 à 5 de la phase 1;
2. Placer le b cher carré avec l'échantillon sur la rampe d'agitation et démarrer une agitation à 45 rpm, pendant 10 secondes afin de remettre les particules en suspension;
3. Remplir une bouteille de 1 litre avec l'affluent (effluent MBBR)
4. Démarrer l'agitation rapide (230 rpm) sur l'échantillon du b cher carré. Injecter simultanément la dose de coagulant. Agiter pendant 1 minute;
5. Diminuer la vitesse d'agitation à 45 tr/min, injecter rapidement la dose de polymère et agiter pendant 4 minutes;
6. Arrêter l'agitation;
7. Commencer le microtamisage en déversant 1 litre de l'échantillon à l'intérieur du microtamis;
8. Transvider le tamisat récupéré dans une bouteille identifiée;
9. Tremper le microtamis dans une solution diluée d'hypochlorite de sodium pendant 5 minutes et laver ensuite avec de l'eau chaude;
10. Répéter les étapes de 1 jusqu'à 9 avec les autres doses de coagulant;
11. Changer la taille de microtamis et répéter les tapes de 1 jusqu'à 10 (de la phase 2).

D'après les résultats obtenus en phase 1 et 2 (voir section 4.1.1 et 4.1.2) des modifications ont été apportées au procédé de Jar test et microtamisage afin de minimiser les écarts observés durant les analyses effectuées au laboratoire. Les étapes du procédé modifié sont décrites ci-dessous :

3.2.5.1.3 Jar test et microtamisage modifié (phase 3)

1. Préparer l'échantillon de l'effluent MBBR (10 L/batch);
2. Régler les chronomètres (durée de brassage);
3. Préparer des seringues avec le polymère et une micropipette avec le coagulant;
4. Préparer le microtamis avec une coupelle en aluminium (installé à l'intérieur) et le déposer sur un autre b cher de 1 litre;
5. Mélanger l'échantillon dans une chaudière de 20 litres (brasser pendant 1 minute) et remplir rapidement 5 b chers carré de 2 litres (jusqu'au débordement);
6. Placer le premier b cher sur la rampe d'agitation;
7. Démarrer une agitation à 45 rpm, pendant 10 secondes afin de remettre les particules en suspension;
8. Transvider l'échantillon dans un autre b cher de 2 litres muni d'une valve de 1/2 pouces;
9. Démarrer une deuxième fois l'agitation à 45 rpm, pendant 10 secondes afin d'homogénéiser l'effluent et ouvrir ensuite la valve pour prendre un échantillon de l'effluent MBBR (Affluent) dans une bouteille identifiée;
10. Ajuster le reste de l'échantillon du b cher à 2 litres;
11. Démarrer l'agitation rapide à 230 rpm. Injecter simultanément la dose de coagulant et agiter pendant 1 minute
12. Diminuer la vitesse d'agitation à 45 rpm, injecter rapidement la dose de polymère et agiter pendant 4 minutes;
13. Placer le microtamis avec le b cher de 1 litre (tel qu'indiqué sur la Figure 3-7) sans arrêter l'agitation; Ouvrir la valve (1/4 de tour) et commencer le microtamisage;
14. Transvider le tamisat récupéré dans une bouteille identifiée;

15. Récupérer les boues (rétenant) retenues sur le microtamis avec une spatule et laver ensuite le microtamis avec de l'eau distillée dans un bécher;
16. Transvider le contenu du bécher (rétenant et eau de lavage) dans une bouteille identifiée de 50 ml;
17. Tremper le tamis dans une solution diluée d'hypochlorite de sodium pendant 5 minutes et laver ensuite avec de l'eau chaude;
18. Refaire les étapes de 2 jusqu'à 16 avec les autres doses de coagulant et de polymère et
19. Changer la taille de microtamis et refaire la procédure de microtamisage sans produits chimiques (section 3.2.2) suivi de la procédure de Jar test et microtamisage modifiée

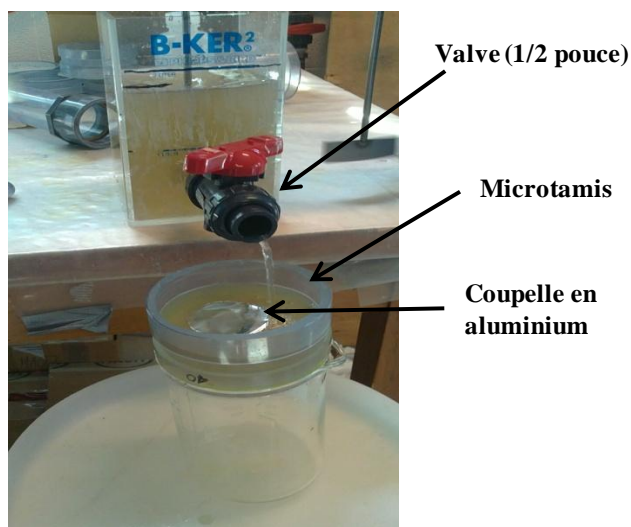


Figure 3-7 : Procédure modifiée de Jar test et microtamisage (phase 3)

3.2.6 Protocole opératoire

Le protocole opératoire a été divisé en trois phases :

- phase 1 : tester l'effet du polymère de 1 à 4 mg/L, et maintenir la dose de coagulant constante à 1 mg Fe/L, pour chaque maille de microtamis (20, 40, 80 et 160 μm ; Tableau 3-1, étape 1).
- phase 2 : tester l'effet du coagulant de 2 à 5 mg Fe/L, et maintenir une dose constante de polymère, pour chaque maille de microtamis (40, 80 et 160 μm). La dose de polymère :
 - ✓ 2 mg polym./L pour le microtamis 80 μm et

✓ 3 mg polym./L pour les microtamis 40 et 160 μm .

- phase 3 (étape de validation) : tester l'effet de l'ouverture des mailles des microtamis (40, 80 et 160 μm) et des différentes doses de coagulant (0, 2 et 4 mg Fe/L) et de polymère (0, et 4 mg/L) (Tableau 3-1, phase 3)

Le résumé des conditions expérimentales pour les trois phases d'essais au laboratoire est présenté au Tableau 3-1.

Tableau 3-1 : Résumé des conditions expérimentales des essais au laboratoire

Phase	Coagulant	Polymère	Ouverture des mailles du microtamis
Unités	mg Fe/L	mg/L	μm
1	0	0	20, 40, 80, 160
	1	1, 2, 3, 4	20, 40, 80, 160
2	2, 3, 4, 5	3	40, 160
		2	80
3	0	0	40
	0, 2, 4	4	
	0	0	80, 160
	0, 2	4	80
	0, 2, 4	4	160

3.2.7 Échantillonnages et analyses

Durant les essais de laboratoire les échantillons prélevés (Figure 4-1) ont été identifiés comme suit :

Affluent (AFF) : effluent de MBBR sans ajout de coagulant et de polymère (0 mg Fe/L et 0 mg polym./L).

Effluent coagulé floculé ($\text{EFF}_{\text{C,F}}$) : effluent de MBBR avec coagulant et /ou polymère.

Tamisat (TAM) : effluent du microtamis.

Rétentat (RET) : effluent de lavage du microtamis (eau de lavage + boues)

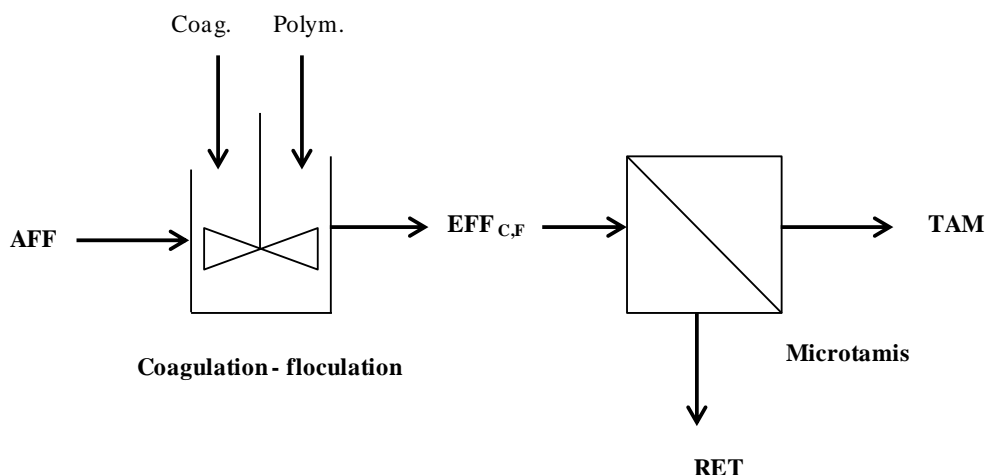


Figure 3-8 : Identification des échantillons durant les essais de laboratoire

L'échantillonnage pour chaque phase du protocole opératoire des essais au laboratoire a été réparti suivant le Tableau 3-2.

Tableau 3-2 : Répartition des échantillonnages durant les essais de laboratoire

Phase	AFF	EFF C,F	RET	TAM
1	X	✓		✓
2	✓			✓
3	✓		✓	✓

Note: X: échantillonnage une fois au début de chaque série d'essai;

✓: échantillonnage durant toute la série d'essai.

Les analyses des échantillons prélevés ont été réalisées en triplicata pour : affluents (AFF), effluents coagulé-floculé (EFF C,F) et tamisat (TAM) à l'exception du rétentat (réplica)

Les analyses effectuées durant les essais au laboratoire sont présentées au tableau 3-3

Tableau 3-3 : Méthodes et nombre d'analyses effectuées durant les essais au laboratoire

Polluant	AFF	EFF C,F	TAM	RET	Méthode	Remarques
MES, MVES	25	20	45	45	SM-2540	
TDCO	25	20	45	45	Spéctrophotométrie- méthode 8000 (Hach)	
CSDCO	25	20	45	0		Filtration effluent à 1.2 μ
SDCO	25	0	25	0		Voir Annexe 3
DBO ₅ -C	4	0	4	0	SM-5210	
TP, o-PO ₄	25	20	45	0	SM-4500	
pH et température	25	20	45	0	pH -mètre	

3.3 Essais pilotes

3.3.1 Matériel et méthode

Le pilote utilisé pour les essais à la STEP de Terrebbonne/Mascouche a été installé en aval du réacteur MBBR (figure 3-9)

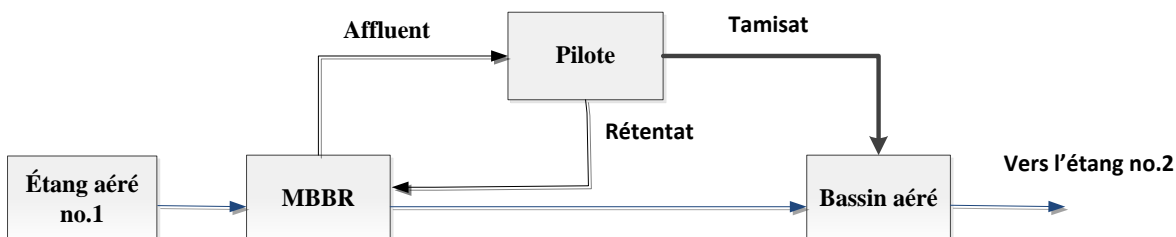


Figure 3-9 : Emplacement du pilote par rapport à la filière de traitement de la STEP de Terrebbonne/Mascouche

Le pilote est composé principalement de :

- bassin avec cloison (volume total de 3 m³) pour la coagulation et la floculation (muni de deux agitateurs à pales);
- débitmètre magnétique installé en amont du filtre à disques (Hydrotech);
- filtre Hydrotech à 2 disques;
- cuve de 500 litres avec un mélangeur (solution de polymère);
- pompe doseuse (seepex) pour injecter le polymère;
- cuve de coagulant (1 m³) placé à l'extérieur du pilote et raccordée à une pompe doseuse (Chem-Tech) de débit maximum 1.3 (LPH) et
- deux sondes Solitax (Hach) pour mesurer les MES à l'affluent et au tamisat (Figure 3-10).



Figure 3-10 : Sonde Solitax avec essuie-glace pour mesurer les MES à l'affluent et au tamisat

Les détails du procédé ainsi que les points d'échantillonnage sont présentés à la figure (3-11).

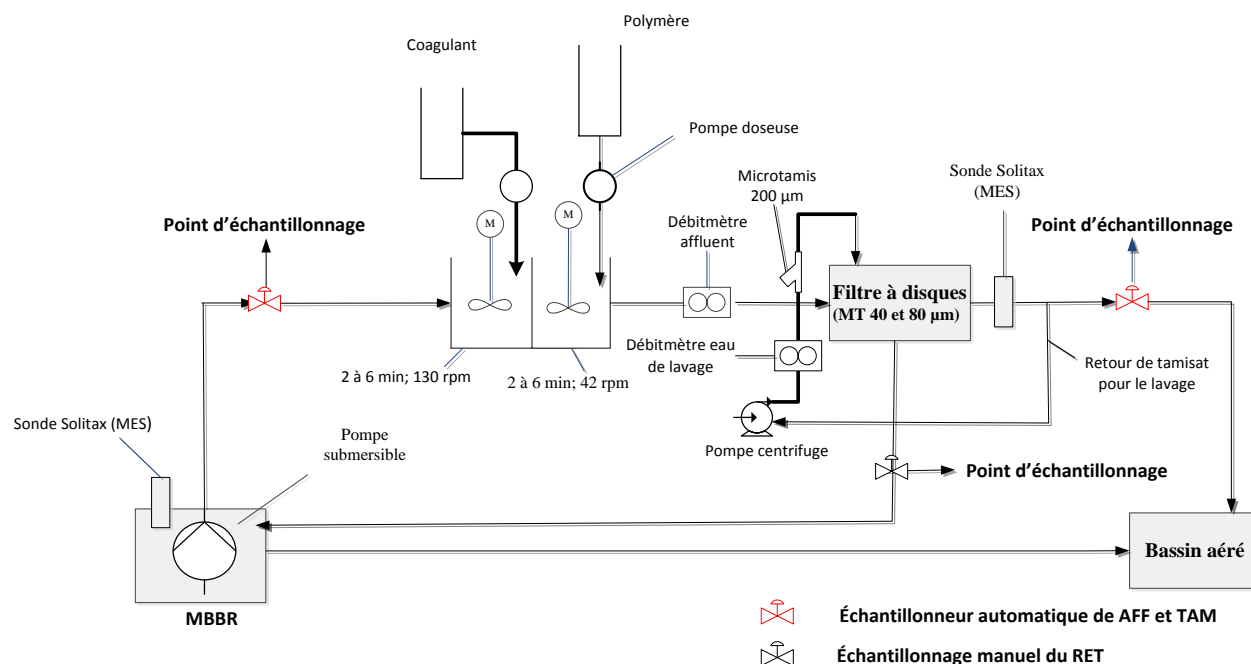


Figure 3-11 : Schéma détaillé du procédé de microtamisage implémenté à la STEP de Terrebbonne/Mascouche

3.3.2 Coagulant et polymère :

Le coagulant et le polymère utilisés pour les essais pilotes étaient respectivement du chlorure ferrique liquide (FeCl_3) d'une concentration de 145 g Fe/L (11%) et du polymère cationique à haute masse moléculaire (Hydrex 6318). Les deux produits ont été fournis par la compagnie John Meunier Inc.

3.3.3 Protocole opératoire

3.3.3.1 Préparation du pilote

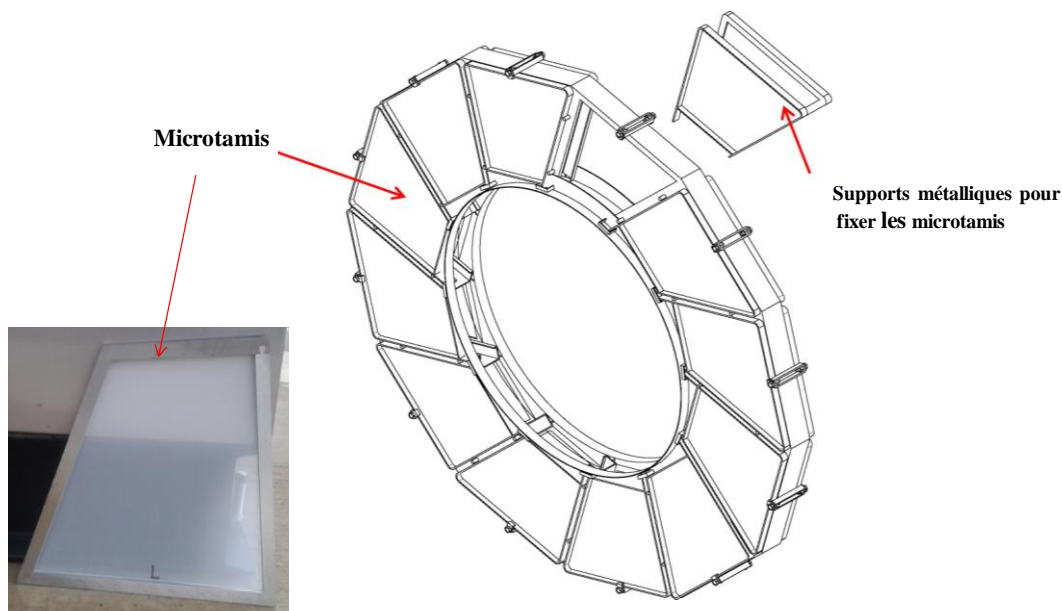
Pour les essais préliminaires il fallait d'abord :

1. Raccorder la tuyauterie à la pompe submersible qui a été installée à l'intérieur d'un baril troué ($\varnothing = 1$ pouce) afin de retenir les médias mobiles;
2. Laver le filtre à disques avec de l'eau potable et installer les 48 microtamis sur les deux disques du filtre. Chaque disque supportait 24 microtamis (Figure 3-12)
3. Commencer le pompage de l'affluent;

4. Calibrer le débitmètre de l'affluent et la pompe de coagulant. La calibration du débitmètre a été effectuée avant le début de chaque essai;
5. Installer les deux sondes Solitax (une à l'intérieur du réacteur MBBR et l'autre à l'intérieur de la cuve de tamisat);
6. Installer les deux échantillonneurs automatiques;
7. Calibrer les sondes Solitax (voir Annexe 3- courbes de calibration);
8. Préparer la solution mère de polymère en dissolvant progressivement dans 500 litres d'eau potable (volume de la cuve de polymère) une masse appropriée de polymère pour la concentration désirée. La masse de polymère à dissoudre était :
 - a. 1.5 kg de polymère pour une concentration de 3 g polym./L, ou
 - b. 2 kg de polymère pour une concentration de 4 g polym./L.

Avant le début de chaque essai une nouvelle solution de polymère a été préparée.

9. Calibrer la pompe de polymère avant le début de chaque essai (voir courbe de calibration Annexe 3);



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Figure 3-12 : Disque avec microtamis (Hydrotech)

3.3.3.2 Fonctionnement du pilote et collecte de données

Le pilote a fonctionné principalement en continue pour une durée de 8 à 15 heures afin d'avoir des échantillons composés, néanmoins quelques échantillons instantanés ont été pris pour validation. L'affluent sera directement pompé du réacteur MBBR (proche de la sortie). Le tamisat et le rétentat seront rejetés respectivement dans le bassin aéré et dans le réacteur MBBR, mais loin du point de pompage et de la sonde Solitax (il n'y avait pas de pompe pour le rétentat, qui s'écoulait simplement par gravité) (Figure 3-9). Les essais pilotes avec les microtamis 40 et 80 μm , se sont déroulés comme suit :

- microtamis 40 μm : Les débits d'affluent (Q_{AFF}) utilisés étaient compris entre 14 et 30 m^3/h , avec une Chs (Q_{AFF}/A) comprise entre 3 et 5 m/h . (étant donné que la superficie filtrante des microtamis (A) est de 5.6 m^2)
- microtamis 80 μm : Les débits d'affluent (Q_{AFF}) utilisés étaient compris entre 21 et 39 m^3/h , avec une Chs (Q_{AFF}/A) comprise entre 4 et 7 m/h .

Chaque essai a été identifié de la façon suivante : (x_y_ Q_{AFF}) où,

x : concentration du coagulant en $\text{mg Fe}/\text{L}$

y : concentration du polymère en mg/L

Q_{AFF} : débit de l'affluent (effluent MBBR) en m^3/h

Afin de déterminer l'efficacité du microtamis seul, aucun produit chimique n'avait été ajouté au début de chaque essai. Le premier essai a été identifié (0_0_ Q_{AFF}) et avait duré en moyenne 60 minutes. Les doses de coagulant et de polymère utilisés sont présentées au Tableau 3-2.

Tableau 3-4 : Intervalle des doses utilisées durant les essais pilotes

ouverture des mailles du microtamis	Intervalle de concentration	
	Coag.	Polym.
μm	$\text{mg Fe}/\text{L}$	mg/L
40	0.5 – 2	2 - 7
80	1 – 5	2 - 4

L'injection du coagulant et du polymère s'est effectuée à l'intérieur des cuves de coagulation et floculation. La vitesse de mélange rapide était de 130 rpm, tandis que celle du mélange lent était de 42 rpm. D'autre part la connexion à distance au pilote avait permis de télécharger les données

pertinentes de chaque essai. Les données récupérées étaient : le débit d'affluent Q_{AFF} (m^3/h), débit d'eau de lavage Q_{LAV} (L/min), MES_{AFF} et TAM (mg/L), fréquence de lavage (secondes) et nombre de lavage par essai.

3.3.4 Déroutement des essais et échantillonnage

Après la préparation du pilote (section 3.3.3.1), la pompe d'affluent a été mise en marche et réglée suivant le débit choisi. Les paramètres suivants ont été notés :

- heure du début et de la fin de chaque essai (durée de l'essai en minutes) et
- pression d'eau de lavage à la sortie des buses (bar)

Pendant le lavage des disques le rétentat a été récupéré dans une chaudière de 20 litres pour être pesée. Cette opération a été répétée trois fois afin de déterminer le volume moyen du rétentat. La dernière chaudière remplie de rétentat a été mélangée (pendant 1 minute) afin de prendre 1 litre d'échantillon. Après la fin de l'essai et l'arrêt des pompes, les données ont été téléchargées et les contenants des échantillonneurs automatiques récupérés afin de prendre des échantillons de l'affluent et du tamisat (1 litre chaque). Les échantillons ont été ensuite transportés dans une glacière pour qu'ils soient analysés au laboratoire.

Afin de préparer le filtre à disques pour les autres essais il fallait procéder selon les étapes suivantes :

- vidanger et laver le bassin de coagulation et floculation ainsi que le réservoir de polymère;
- vidanger les cuves (affluent et tamisat) du filtre à disques;
- laver chimiquement les microtamis (seulement, s'il y avait ajout de coagulant et de polymère) avec une solution diluée d'hypochlorite de sodium (0.5 %) qui a été préparée à l'intérieur de la cuve de tamisat afin de submerger la moitié des disques. Après 5 minutes de trempage faire tourner manuellement les disques pour faire tremper les autres microtamis. Après 20 minutes de trempage, démarrer le lavage automatique avec la solution d'hypochlorite pendant 5 minutes et ensuite vidanger la cuve de tamisat pour la remplir avec de l'eau potable. Finalement démarrer un dernier lavage automatique pendant 5 à 10 minutes;
- laver le filtre métallique ($200\ \mu\text{m}$) situé en amont des buses de lavage;

- vidanger la cuve de tamisat;
- préparer la solution mère de polymère et calibrer la pompe de polymère et
- choisir un débit d'affluent et démarrer la pompe submersible.

3.3.5 Méthodes analytiques

Une série d'analyses a été réalisée afin de déterminer la concentration des polluants présents dans les échantillons prélevés. Le nombre et les méthodes d'analyse sont présentés au Tableau 3-5.

Tableau 3-5 : Méthodes et nombre d'analyses effectuées durant les essais pilotes

Polluant	AFF	TAM	RET	Méthode	Remarques
MES, MVES	25	25	24	SM-2540	
TDCO	25	25	25	Spéctrophotométrie- méthode 8000 (Hach)	
SCDCO	25	25	-		Filtration effluent à 1.2 µ
SDCO	6	6	-		Voir Annexe 1
DBO _{c-5}	6	6	-	SM-5210	
TP, o-PO4	15	15	-	SM-4500	
pH et température	15	-	-	pH -mètre	

3.4 Validation des résultats

La validation des résultats des essais de laboratoire et des essais pilotes s'est basée essentiellement sur le calcul des bilans de masse des MES et/ou la TDCO. La comparaison des données affichées de MES affichées par les deux sondes solitax (à l'affluent et au tamisat) a été utilisée afin de valider les résultats des essais pilotes.

3.4.1 Bilan de masse

3.4.1.1 Essais de laboratoire

Le schéma de la Figure 3-13, a permis d'écrire les bilans de masse de MES autour du microtamis suivant l'équation (3.3) :

$$\text{Bilan de masse des MES (\%)} = \frac{M_{\text{TAM}} (\text{mg}) + M_{\text{RET}} (\text{mg})}{[M_{\text{AFF}} + M_{\text{coag.}} + M_{\text{polym.}}] (\text{mg})} \times 100 \quad (3.3)$$

où,

$$M_{\text{AFF}} : V_{\text{AFF}} (\text{L}) \times \text{MES}_{\text{AFF}} (\text{mg/L}) \quad (3.4)$$

$$M_{TAM} : V_{TAM} (L) \times MES_{TAM} (mg/L) \quad (3.5)$$

$$M_{RET} : V_{RET} (L) \times MES_{RET} (mg/L) \quad (3.6)$$

où,

V_{AFF} = volume de l'affluent (L)

V_{TAM} = volume du tamisat (L)

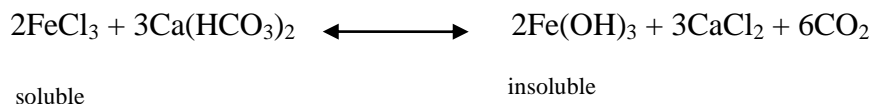
V_{RET} = volume des boues + volume eau distillée

$$M_{coag.} (mg \text{ MES}) = f_{MES/Fe} (mg \text{ MES/mg Fe}) \times coag. (mg \text{ Fe/L}) \times V_{AFF} (L) \quad (3.7)$$

$$M_{polym.} (mg \text{ MES}) = f_{MES/polymère.} (mg \text{ MES/mg polymère}) \times polym. (mg/L) \times V_{AFF} (L) \quad (3.8)$$

Les facteurs $f_{MES/Fe}$ et $f_{MES/polymère.}$ ont été utilisés pour le calcul de la masse des MES produite respectivement par le coagulant ($M_{coag.}$) et le polymère ($M_{polym.}$) où :

- $f_{MES/Fe} = 2 \text{ mg MES /mg Fe}$ calculé suivant la réaction :



Les MES produites par le $FeCl_3$ sont principalement de l'hydroxyde de fer ($Fe(OH)_3$).

D'après la stœchiométrie de la réaction ci-dessus :

$$Fe(OH)_3 \text{ formé } \left(\frac{g \text{ Fe(OH)}_3}{g \text{ Fe}} \right) = \frac{(2 \times Mm \text{ Fe(OH)}_3)}{(2 \times Mm \text{ Fe})} = \frac{(2 \times 106.9)}{(2 \times 56)} = 1.9 \quad (3.9)$$

Donc, pour chaque gramme de fer (Fe), il y aurait formation de 1.9 g de $Fe(OH)_3$

En mettant l'hypothèse qu'il y aurait aussi précipitation du phosphore soluble ($o-PO_4$) le facteur $f_{MES/Fe}$ a été arrondi à 2 mg MES/mg Fe

- l'hypothèse suivante a été posée afin de calculer le facteur de polymère $f_{MES/polymère.}$:

Pour 1 mg de polymère ajouté à l'affluent il y aurait production de 1 mg MES produite, c'est-à-dire : $f_{MES/polymère.} = 1 \text{ mg MES/ mg polymère}$

Les essais de microtamisage ont été considérés valables lorsque les bilans de masse des MES fermaient entre 80 et 120 %.

- Note : l'eau distillée n'a pas été pris en considération pour le calcul des masses puisqu'elle ne contenait pas de MES (0 mg MES/L)

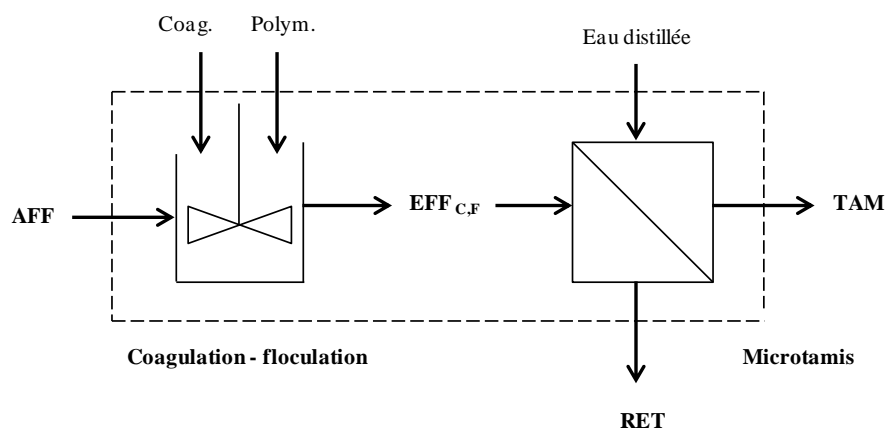


Figure 3-13 : Schéma du bilan de masse autour du microtamis de laboratoire

3.4.1.2 Essais pilotes

Les bilans de masse réalisés autour du pilote (Figure 3-15) ont permis d'écrire l'équation suivante :

$$F_{\text{AFF}} + F_{\text{coag.}} + F_{\text{polym.}} = F_{\text{TAM}} + F_{\text{RET}} \quad (3.10)$$

où,

F_{AFF} : flux de l'affluent (g/essai)

F_{TAM} : flux du tamisat (g/essai)

F_{RET} : flux du rétentat (g/essai)

$F_{\text{coag.}}$: flux de coagulant (g/essai)

$F_{\text{polym.}}$: flux du polymère (g/essai)

La durée d'un essai a varié entre 30 minutes et 19 heures selon les conditions de l'essai. Pour chaque essai des cycles de microtamisage statique et de microtamisage en rotation avec lavage ont eu lieu. La durée d'un lavage était constante à une minute tandis que la durée de microtamisage statique a varié entre 2 et 10 minutes.

Les débits d'affluent moyens (Q_{AFF}) utilisés durant les essais pilotes ont été compris entre 14 ± 1 et $39 \pm 3 \text{ m}^3/\text{h}$.

Le débit d'eau de lavage instantané et le volume total d'eau de lavage par essai ont été identifiés comme suit :

- Q_{LAV} (débit d'eau de lavage instantané par cycle) = 49 L/min (représente 7 à 23% de Q_{AFF})
- V_{LAV} total (volume d'eau de lavage par essai) = 3% V_{AFF} (voir équation 2.13)

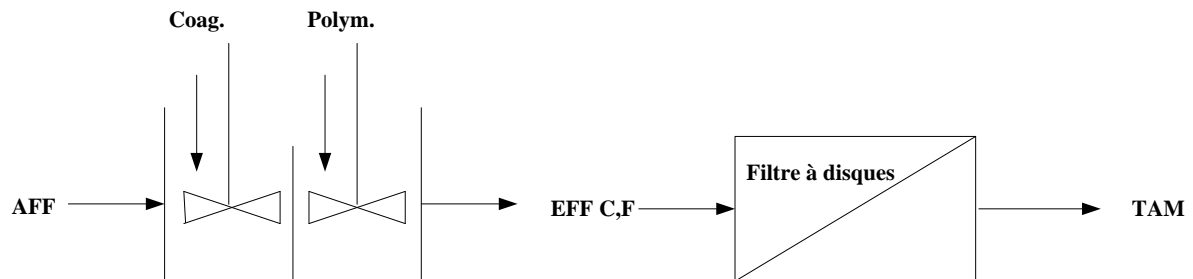


Figure 3-14 : Schéma fonctionnel du procédé en mode microtamisage statique

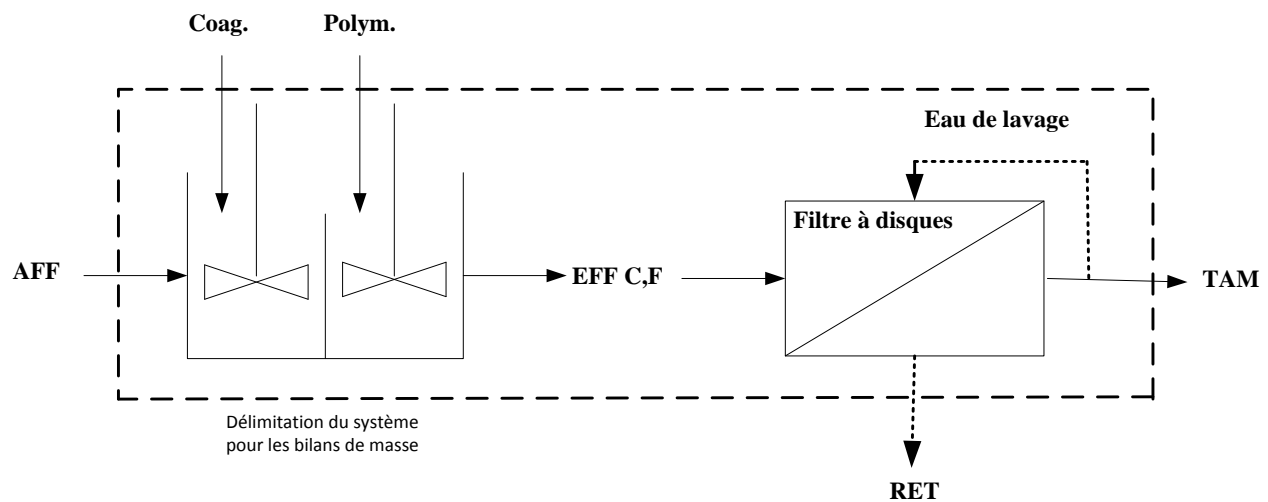


Figure 3-15 : Schéma fonctionnel du procédé en mode de microtamisage en rotation et lavage

Le bilan de masse des MES s'écrit comme suit :

$$\text{Bilan de masse des MES (\%)} = \frac{F_{TAM} (g) + F_{RET} (g)}{[F_{AFF} + F_{cog} + F_{polym.}] (g)} \times 100 \quad (3.11)$$

Calcul des flux (F) pour le bilan de masse :

$$F_{AFF} (g/essai) = [V_{AFF} (m^3) / essai] \times MES_{AFF} (g/m^3) \quad (3.12)$$

où,

$$V_{AFF} (m^3/essai) = Q_{AFF} (m^3/h) \times \text{durée de l'essai (h/essai)} \quad (3.13)$$

$$F_{RET} (g/essai) = V_{tot RET} (m^3/essai) \times MES_{RET} (g/m^3) \quad (3.14)$$

où,

$$V_{\text{tot RET}} (\text{m}^3/\text{essai}) = V_{\text{RET}} (\text{m}^3/\text{lavage}) \times [\text{nombre de lavages/essai}] \quad (3.15)$$

où

- ✓ V_{RET} représente le volume de boues récupéré pendant un lavage (voir section 3.3.4) et
- ✓ [nombre de lavages /essai] : représente le nombre de lavages enregistré durant l'essai

$$F_{\text{TAM}} (\text{g/essai}) = V_{\text{TAM}} (\text{m}^3/\text{essai}) \times \text{MES}_{\text{TAM}} (\text{g/m}^3) \quad (3.16)$$

$$V_{\text{TAM}} (\text{m}^3/\text{essai}) = V_{\text{AFF}} (\text{m}^3/\text{essai}) - V_{\text{tot RET}} (\text{m}^3/\text{essai}) \quad (3.17)$$

$$F_{\text{coag.}} (\text{mg MES}) = f_{\text{MES/Fe}} (\text{mg MES/mg Fe}) \times \text{coag.} (\text{mg Fe/L}) \times V_{\text{AFF}} (\text{L}) \quad (3.18)$$

$$F_{\text{polym.}} (\text{mg MES}) = f_{\text{MES/polymère}} (\text{mg MES/mg polymère}) \times \text{polym.} (\text{mg/L}) \times V_{\text{AFF}} (\text{L}) \quad (3.19)$$

où,

$f_{\text{MES/Fe}} = 2 \text{ mg MES/mg Fe}$ et $f_{\text{MES/polymère}} = 1 \text{ mg MES/mg polymère}$ (voir la section 3.4.1.1)

L'équation (eq 3.5) a été utilisée pour calculer les bilans de masse des MES et de la TDCO.

Les essais de microtamisage ont été considérés valables lorsque les bilans de masse fermaient entre 80 et 120 %.

3.4.2.2 Analyse des MES au laboratoire et lecture des sondes Solitax

Après la calibration des sondes MES (à l'affluent et au tamisat), et durant chaque test une comparaison entre les données affichées par les sondes et celles mesurées au laboratoire a été établie afin de déterminer le degré de corrélation entre les deux méthodes de mesure.

3.5 Efficacité du procédé de microtamisage

L'efficacité du procédé de microtamisage pour les essais au laboratoire et les essais pilotes a été évaluée sur la base du pourcentage d'abattement des polluants à analyser. L'efficacité du procédé (ou le rendement) s'écrit comme suit :

$$\text{Rendement (\%)} = \frac{\text{Polluant AFF} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) - \text{Polluant TAM} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)}{\text{Polluant AFF} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)} \times 100 \quad (3.20)$$

CHAPITRE 4 RÉSULTATS

Ce chapitre est divisé en deux sections et couvre l'ensemble des résultats obtenus durant la période des essais. Les résultats des essais de laboratoire sont présentés à la première section tandis que les résultats des essais pilotes le sont à la deuxième section. À la fin de ce chapitre une comparaison entre les résultats des essais de laboratoire et des essais pilotes a été réalisée.

4.1 Essais de laboratoire

4.1.1 Phase 1 (dose de polymère variable et dose de coagulant constante)

Durant cette phase la dose de coagulant a été maintenue constante (1 mg Fe/L) et la dose de polymère variable pendant le microtamisage de l'affluent de MBBR avec les MT 20, 40, 80 et 160 μm . Les résultats de la phase 1, sont présentés à l'Annexe 2.

4.1.1.1 Microtamis 20 μm

Les doses de polymère utilisées durant cet essai ont varié de 0 à 4 mg/L et les analyses ont été réalisées sur les échantillons de $\text{EFF}_{\text{C,F}}$ et TAM. Les deux polluants analysés ont été les MES et la TDCO.

A) Abattement des MES et la TDCO

(pH = 7.5 ± 0.1 et T = 18.5 ± 0.5 °C)

L'effet de la dose de polymère, lorsque la dose de coagulant est constante, sur le microtamisage de l'affluent de MBBR avec le MT 20 μm , est illustré aux Figures 4-1 et 4-2. Pour des doses de polymère variant entre 0 et 3 mg/L, la concentration de MES au tamisat a augmenté, avant de diminuer pour la dose de 4 mg polym./L (Figure 4-1) ce qui a laissé prétendre à l'utilisation d'une dose de polymère supérieure à 4 mg/L afin de réduire les MES au tamisat. Par contre la plus faible concentration de MES au tamisat a été obtenue sans ajout de produits chimiques. Ce phénomène a été expliqué par la formation de gâteau plus épais que celui formé avec ajout de coagulant et de polymère. Ce dernier a permis de retenir plus de particules sur le MT. La TDCO au tamisat était presque inchangée pendant la variation de la dose de polymère (Figure 4-2).

L'augmentation observée de MES et TDCO à l'effluent $\text{EFF}_{\text{C,F}}$ (Figures 4-1 et 4-2) était due à la décantation des floccs au fond du b cher carré pendant le microtamisage (voir figure 3-5). Cette situation a été corrigée durant les phases 2 et 3.

En conclusion la variation de la dose de polymère lorsque la dose de coagulant est de 1 mg Fe/L, en utilisant le MT 20 μm , n'a pas eu d'effet sur l'abattement de MES et TDCO.

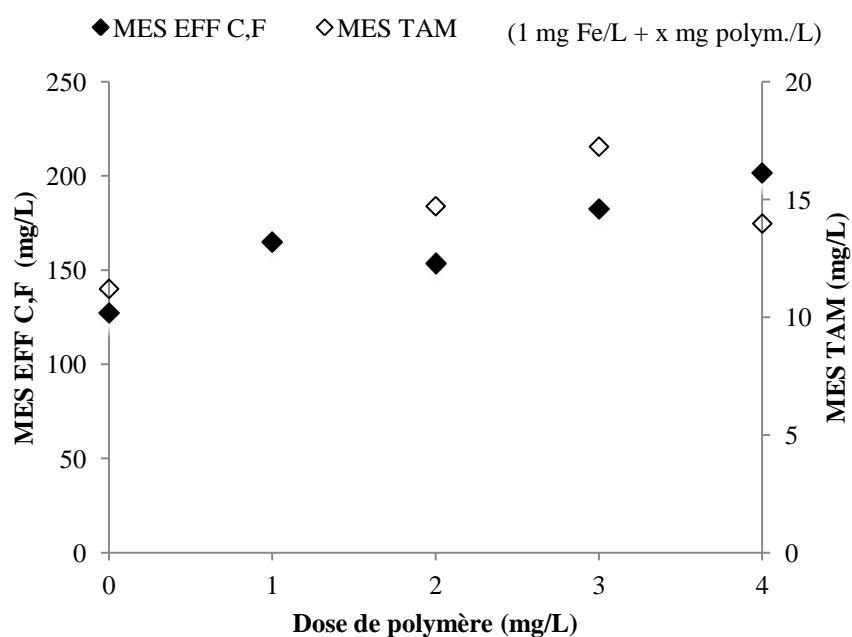


Figure 4-1 : Effet de la dose de polymère (coag. = 1 mg Fe/L; MT 20 μm) sur les MES (EFF C,F et TAM).

Note : pour la dose de polymère 0 mg/L le dosage de fer a été de 0 mg Fe/L.

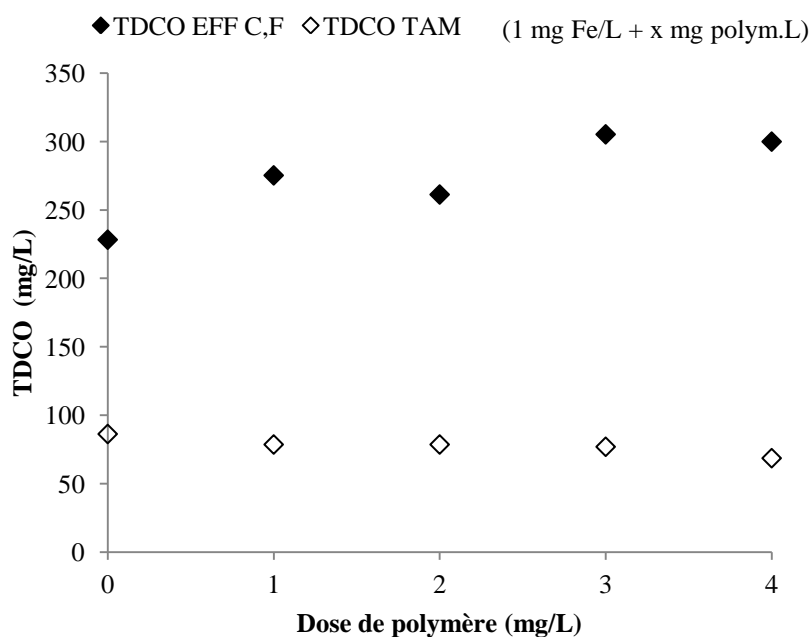


Figure 4-2 : Effet de la dose de polymère (coag. = 1 mg Fe/L; MT 20 μm) sur la TDCO (EFF C,F et TAM)

(Note : pour la dose de polymère 0 mg/L le dosage de fer a été de 0 mg Fe/L.)

4.1.1.2 Microtamis 40, 80 et 160 μm

Les doses de polymère utilisées durant ces essais ont varié de 0 à 4 mg/L et les analyses ont été réalisées sur les échantillons de EFF_{C,F} et TAM. Afin de déterminer l'effet du polymère sur le microtamisage de l'affluent de MBBR avec les MT 40, 80 et 160 μm , les polluants suivants ont été analysés: MES, TDCO et XDCO.

A) Abattement des MES ($\text{pH} = 7.5 \pm 0.1$ et $T = 18.7 \pm 1^\circ\text{C}$)

L'effet de la dose de polymère, lorsque la dose de coagulant est constante, sur l'abattement de MES durant le microtamisage de l'affluent de MBBR avec les MT 40, 80 et 160 μm , est illustré à la Figure 4-3. L'utilisation des doses de polymère comprises entre 2 et 4 mg/L (voir les valeurs encadrées de la Figure 4-3) a permis de réduire les MES au tamisat pour les MT 40, 80 et 160 μm . Cette réduction était plus importante (abattement de 86 %) pour les MT 80 et 160 μm . Néanmoins, le microtamisage avec le MT 40 μm sans ajout de produits chimiques (0 mg Fe/L et 0 mg polym./L) a permis d'atteindre un abattement de 80% de MES.

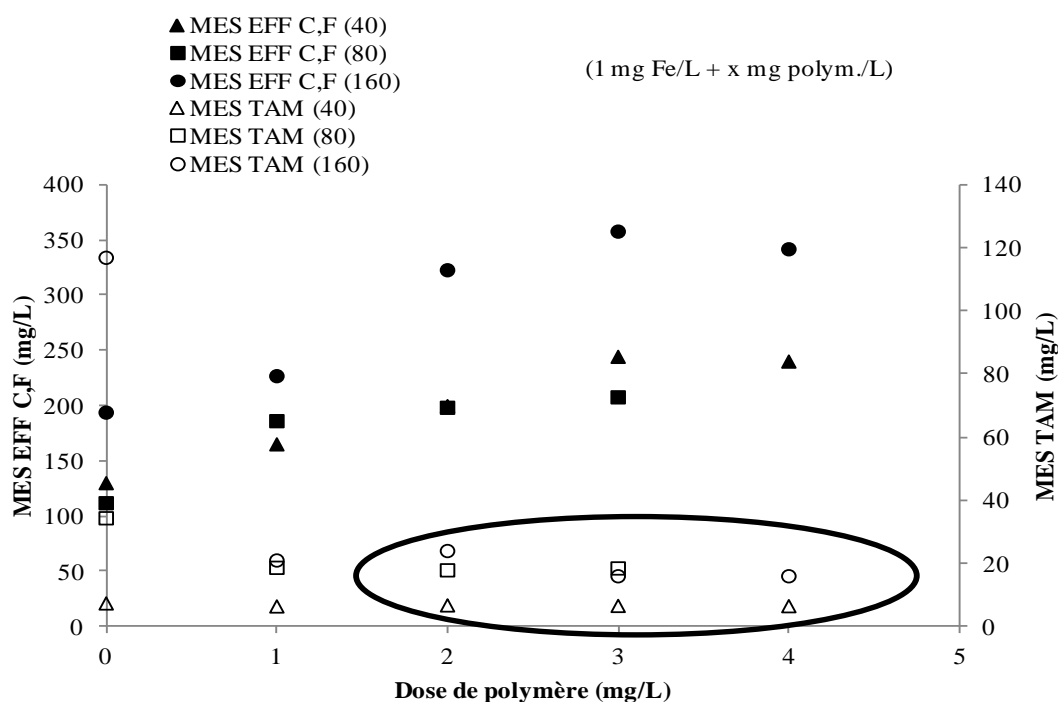


Figure 4-3 : Effet de la dose de polymère (coag. = 1 mg Fe/L; MT 40, 80 ou 160 μm) sur les MES (EFF C,F et TAM). Note : pour la dose de polymère 0 mg/L le dosage de fer a été de 0 mg Fe/L.

B) Abattement de la TDCO ET XDCO ($\text{pH} = 7.5 \pm 0.1$ et $T = 18.7 \pm 1^\circ\text{C}$)

L'effet de la dose de polymère, lorsque la dose de coagulant est constante, sur l'abattement de la TDCO et XDCO durant le microtamisage de l'affluent de MBBR avec les MT 40, 80 et 160 μm , est illustré aux Figures 4-4 et 4-5. L'utilisation des doses de polymère comprises entre 2 et 4 mg/L (voir les valeurs encadrées des Figures 4-4 et 4-5) a permis de réduire la TDCO et la XDCO au tamisat avec les MT 40, 80 et 160 μm .

Par contre l'augmentation de TDCO et la XDCO observée à l'effluent EFF C,F était due à la décantation des floccs au fond du b cher carré pendant le microtamisage (voir figure 3-5). Cette situation a été corrigée durant les phases 2 et 3.

En conclusion l'utilisation des doses de polymère (entre 2 et 4 mg/L) lorsque la dose de coagulant est constante (1 mg Fe/L) pour le microtamisage de l'affluent de MBBR avec les MT 40, 80 et 160 μm a permis de réduire la concentration de MES, TDCO et XDCO au tamisat.

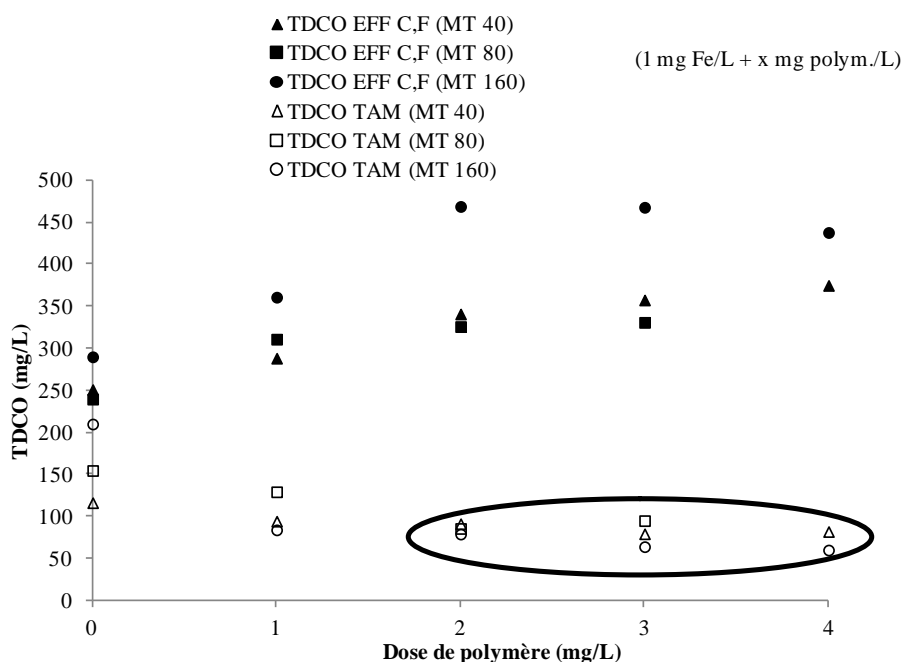


Figure 4-4 : Effet de la dose de polymère (coag. = 1 mg Fe/L; MT 40, 80 ou 160 μm) sur la TDCO (EFF C,F et TAM) (Note : pour la dose de polymère 0 mg/L le dosage de fer a été de 0 mg Fe/L).

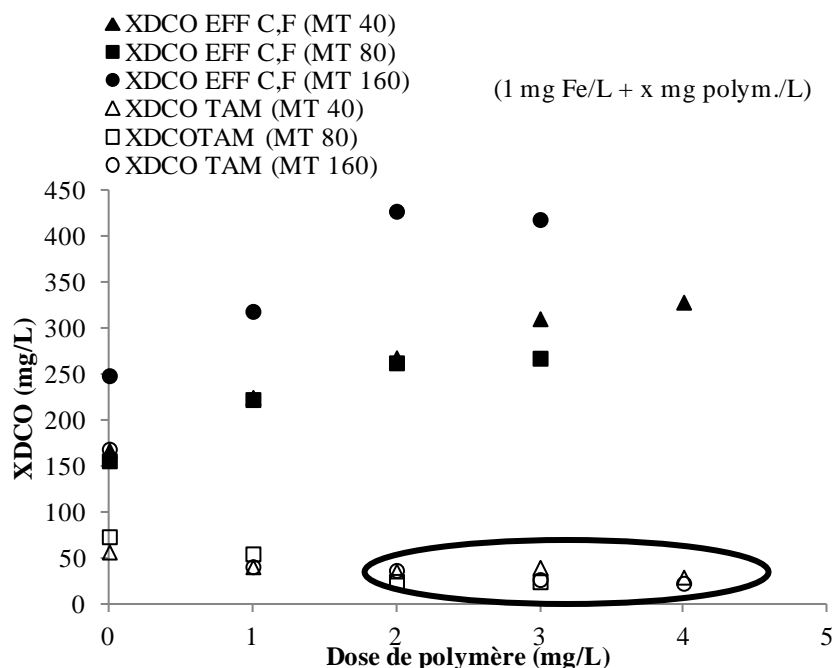


Figure 4-5 : Effet de la dose de polymère (coag. = 1 mg Fe/L; MT 40, 80 ou 160 μ m) sur la XDCO (EFF C,F et TAM) (Note : pour la dose de polymère 0 mg/L le dosage de fer a été de 0 mg Fe/L.

En résumé et suite aux résultats obtenus durant la phase 1 des essais de laboratoire, Le MT 20 n'a pas été retenu pour la suite des essais (phases 2 et 3). Les doses de polymère à utiliser et les MT retenus pour les phases 2 et 3 des essais de laboratoire ont été :

- 3 mg polym./L (MT 40, 160 μ m);
- 2 mg polym./L (MT 80 μ m)

4.1.2 Phase 2 (dose de coagulant variable et dose de polymère constante)

Durant la phase 2, la dose de coagulant était variable tandis que celle du polymère était constante selon la taille du microtamis utilisé (3 mg polym./L pour les MT 40 et 160 μ m et 2 mg polym./L pour le MT 80 μ m). Les résultats de la phase 2, sont présentés à l'Annexe 2.

4.1.2.1 Microtamis 40, 80 et 160 μ m

Afin de déterminer l'effet de la dose de coagulant (en présence de polymère) sur le microtamisage de l'affluent de MBBR avec les MT 40, 80 et 160 μ m, les polluants suivants ont été analysés: MES, TDCO, CSDCO, XDCO, TP, o-PO₄ et XP. L'échantillonnage s'est effectué sur AFF et TAM.

A) Abattement des MES ($\text{pH} = 7.5 \pm 0.1$ et $T = 18.7 \pm 1^\circ\text{C}$)

L'effet de la dose de coagulant, lorsque la dose de polymère est constante, sur l'abattement des MES pendant le microtamisage de l'affluent de MBBR avec les MT 40, 80 et 160 μm , est illustré à la Figure 4-6. Pour une dose variant entre 0 et 5 mg Fe/L, la concentration de MES au tamisat est demeurée constante pour le MT 80 μm . Toutefois pour les MT 40 et 160 μm , une augmentation de MES au tamisat a été observée et a été attribuée à la rupture du gâteau (formé à la surface des MT) laissant passer les particules de diamètres inférieurs à celui de l'ouverture des mailles du microtamis. L'augmentation des MES au tamisat était plus importante pour le MT 160 μm . En conclusion la variation de la dose de coagulant quand la dose de polymère est de 3 mg polym./L (MT 40, 160 μm) et de 2 mg polym./L (MT 80 μm), pendant le microtamisage de l'affluent de MBBR, n'a pas réduit les MES au tamisat.

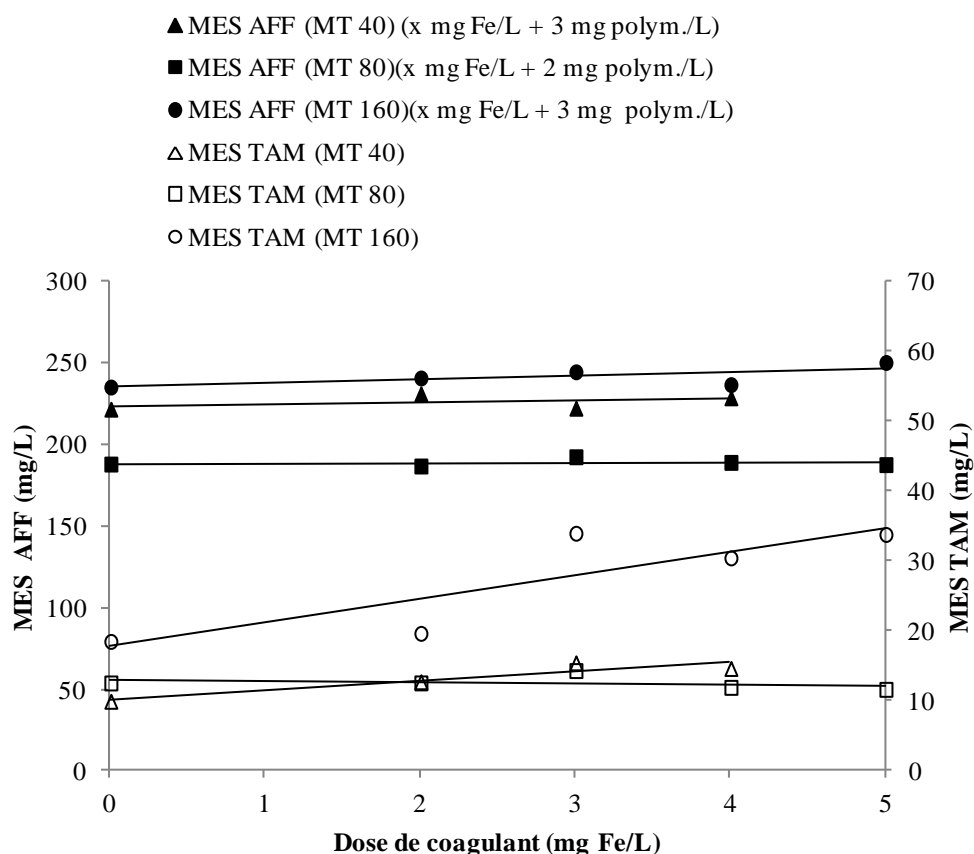


Figure 4-6 : Effet de la dose de coagulant sur les MES (polym. = 3 mg/L; MT 40, 160 μm et polym. = 2 mg/L; MT 80 μm)

B) Abattement de la TDCO et CSDCO ($\text{pH} = 7.5 \pm 0.1$ et $T = 18.7 \pm 1^\circ\text{C}$)

L'effet de la dose de coagulant, lorsque la dose de polymère est constante, sur l'abattement de la TDCO et CSDCO pendant le microtamisage de l'affluent de MBBR avec les MT 40, 80 et 160 μm , est illustré aux Figures 4-7, 4-8 et 4-9. La variation de la dose de coagulant lorsque la dose de polymère est constante, n'a eu aucun effet significatif sur la réduction de la TDCO et la CSDCO au tamisat pendant le microtamisage de l'affluent avec le MT 40, 80 et 160 μm (Figure 4-7, 4-8 et 4-9a).

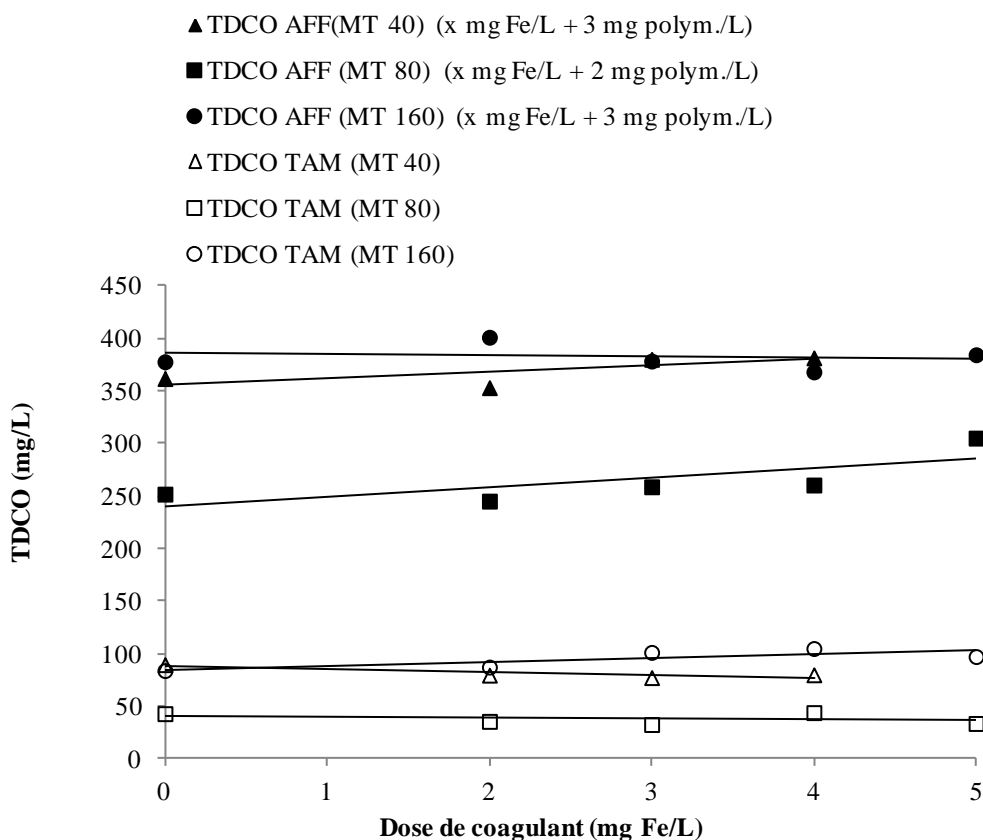


Figure 4-7 : Effet de la dose de coagulant sur la TDCO (polym. = 3 mg/L; MT 40, 160 μm et polym. = 2 mg/L; MT 80 μm)

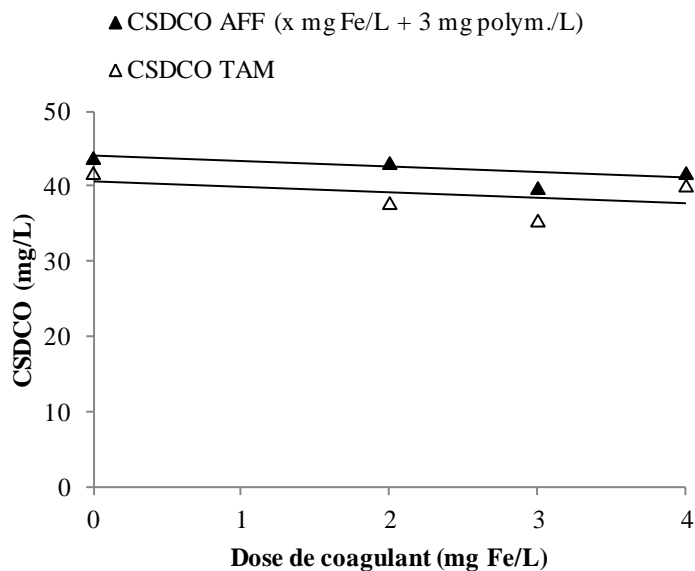


Figure 4-8 : Effet de la dose de coagulant sur la SCDCO (polym. = 3 mg/L; MT 40 µm)

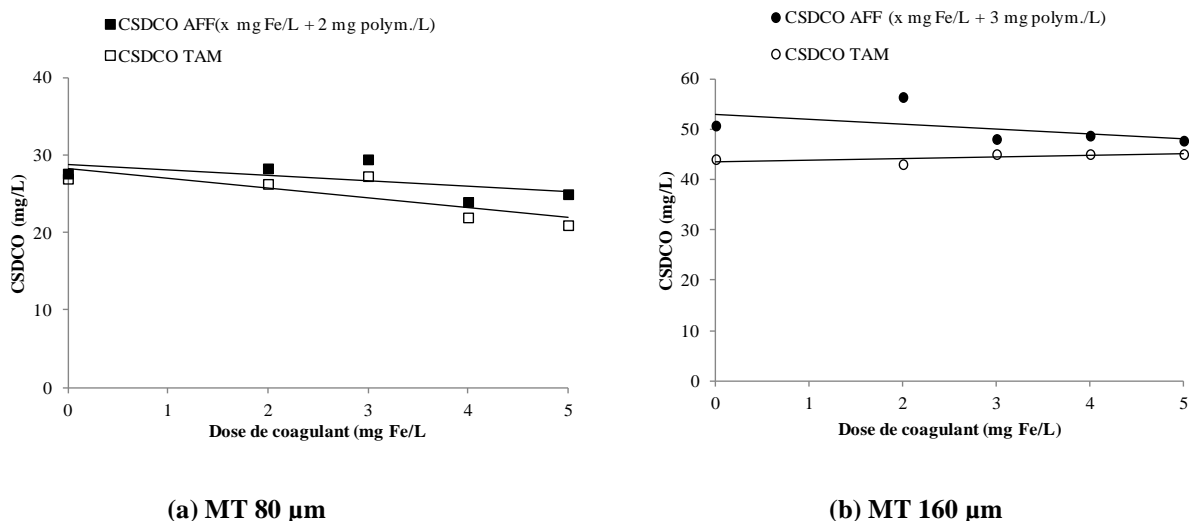


Figure 4-9 : Effet de la dose de coagulant sur la SCDCO (a) polym. = 3 mg/L; MT 40 et (b) polym. = 2 mg/L; MT 80 µm)

En conclusion la variation de la dose de coagulant (entre 0 et 5 mg Fe/L) quand la dose de polymère est de 3 mg polym./L (MT 40 et 160 µm) et de 2 mg polym./L (MT 80 µm) pendant le microtamisage de l'affluent de MBBR, n'a pas eu d'effet significatif sur la CSDCO au tamisat pour les MT 40 et 80 µm.

C) Abattement du TP, o-PO4 et XP

L'effet de la dose de coagulant, lorsque la dose de polymère est constante, sur l'abattement de TP, o-PO4 et XP pendant le microtamisage de l'affluent de MBBR avec les MT 40, 80 μm , est illustré aux Figures 4-10 et 4-11. La variation de la dose de coagulant lorsque la dose de polymère est de 3 mg polym./L pour le MT 40 μm et de 2 mg polym./L pour le MT 80 μm , a réduit considérablement le TP (abattement entre 73 et 80 %) (Figure 4-10). La fraction du TP enlevée était principalement des o-PO4 (abattement entre 55 et 80%) (Figure 4-11a), puisque l'abattement du XP a été pratiquement nul (Figure 4-11b).

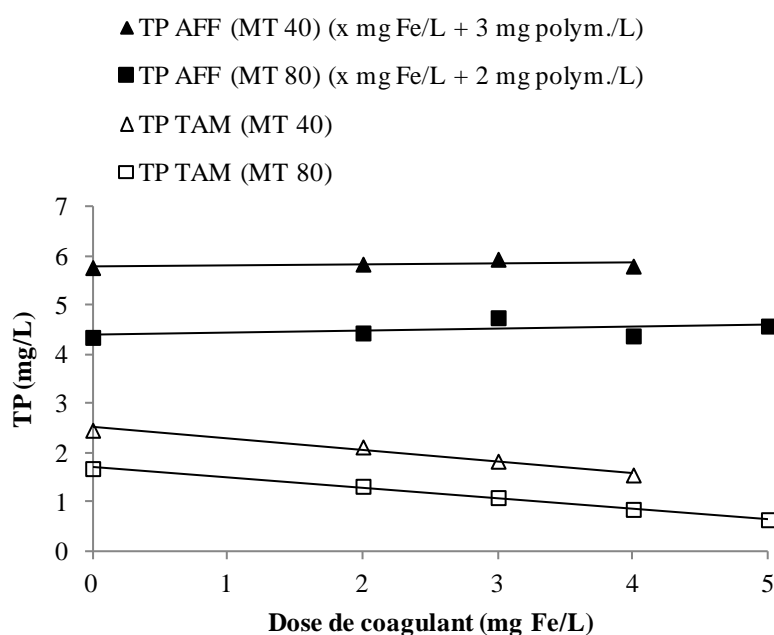


Figure 4-10 : Effet de la dose de coagulant sur le TP (polym. = 3 mg/L; MT 40 μm et polym. = 2 mg/L; MT 80 μm)

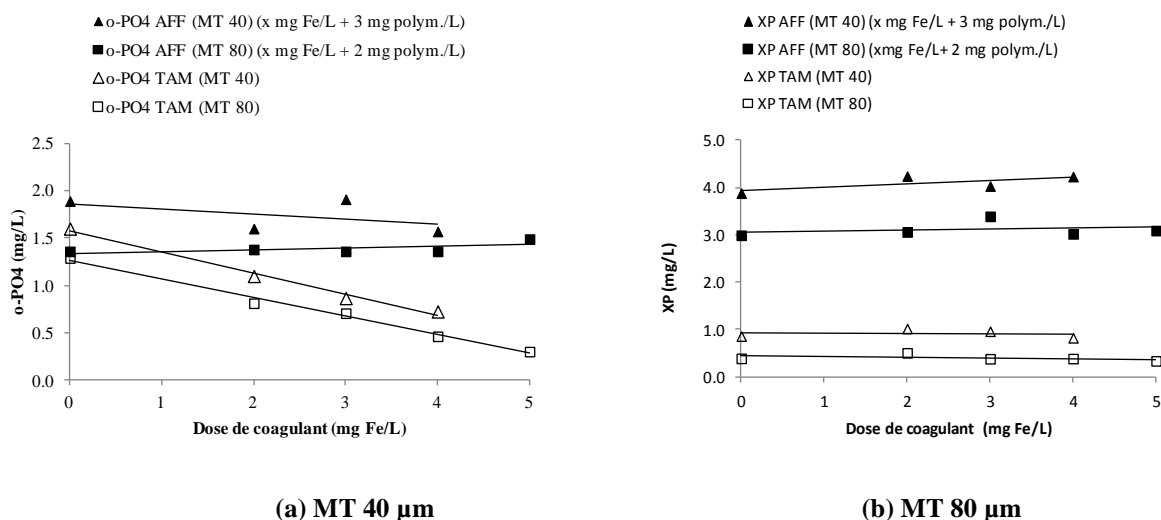


Figure 4-11 : Effet de la dose de coagulant sur les o-PO4 et XP ((a) polym. = 3 mg/L; MT 40 et (b) polym. = 2 mg/L; MT 80 µm)

En résumé et suite aux résultats obtenus durant la phase 2, la variation de la dose de coagulant lorsque la dose de polymère est constante pendant le microtamisage de l'affluent de MBBR a permis de réduire le TP et o-PO4, mais légèrement la CSDCO pendant le microtamisage de l'affluent de MBBR avec les MT 40 et 80 µm. Par contre aucun effet n'a été observé sur la réduction des MES et XP.

4.1.3 Phase 3 (validation par bilans de masse)

Durant la phase 3, des essais supplémentaires ont été réalisés avec la méthode de jar test et microtamisage modifié, afin de minimiser les erreurs méthodologiques observées au cours des phases 1 et 2. Les résultats obtenus ont été validés par des bilans de masse. Le but de cette phase a était de :

- déterminer l'effet de l'ouverture des mailles des MT 40, 80 et 160 µm, sur l'abattement des MES au tamisat et
- déterminer l'effet de la dose de coagulant ajoutée avec une dose maximale de polymère (4 mg /L) sur l'abattement des MES au tamisat

Les résultats de la phase 3, sont présentés à l'Annexe 2.

4.1.3.1 Effet de l'ouverture des mailles des MT 40, 80 et 160 μm , sur l'abattement des MES

L'effet de l'ouverture des mailles des MT40, 80 et 160 μm , sur l'abattement des MES pendant le microtamisage de l'affluent de MBBR est illustré à la Figure 4-12.

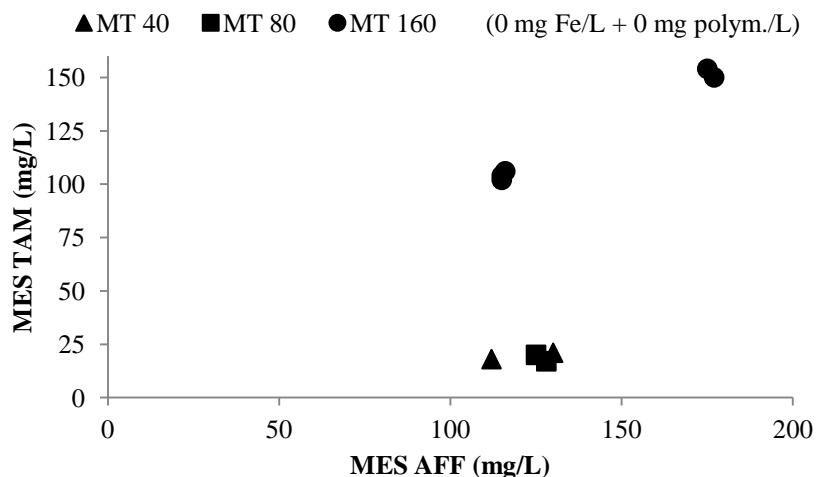


Figure 4-12 : Effet de l'ouverture des mailles des MT40, 80 et 160 μm , sur les MES

Le microtamisage de l'affluent de MBBR (0 mg Fe/L; 0 mg polym./L) avec les MT 40 et 80 μm , a permis d'obtenir des concentrations de MES au tamisat inférieures à 25 mg/L, tandis que celles observées pendant le microtamisage avec le MT 160 μm ont été trop élevées (MES TAM > 100 mg/L). Les bilans de masse de MES réalisés autour des MT 40, 80 et 160 μm , étaient respectivement 85, 94 et 99 % (voir Annexe 2- Phase 3).

4.1.3.2 Effet de la dose de coagulant et de polymère sur l'abattement des MES

L'effet de la dose de coagulant lorsque la dose de polymère est constante (4 mg/L) sur l'abattement des MES au tamisat pendant le microtamisage de l'affluent de MBBR avec les MT 40, 80 et 160 μm est illustré aux Figures 4-13, 4-14 et 4-15.

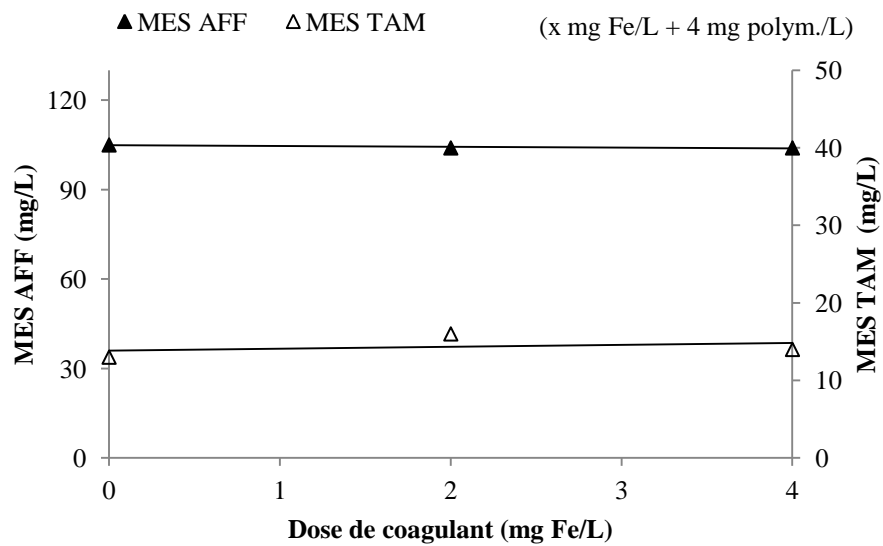


Figure 4-13 : Effet de la dose de coagulant sur les MES (poly. = 4 mg/L; MT 40 µm)

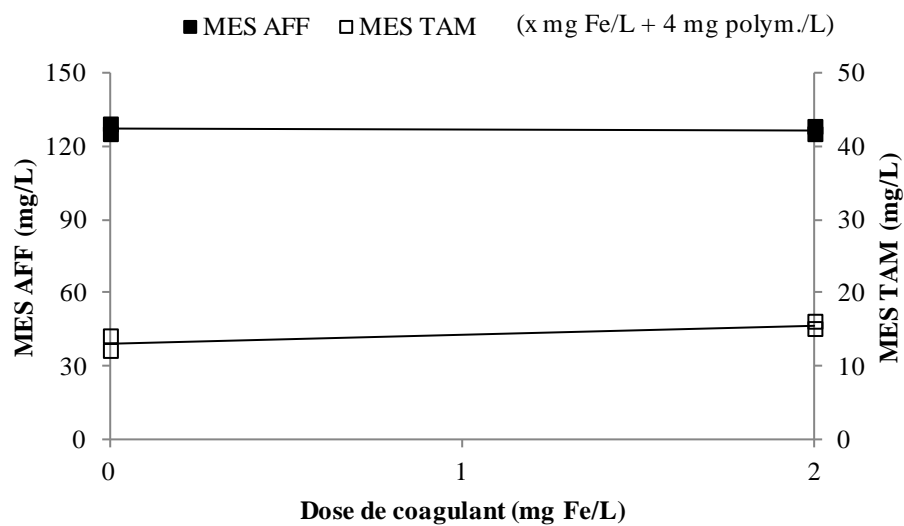


Figure 4-14 : Effet de la dose de coagulant sur les MES (poly. = 4 mg/L; MT 80 µm)

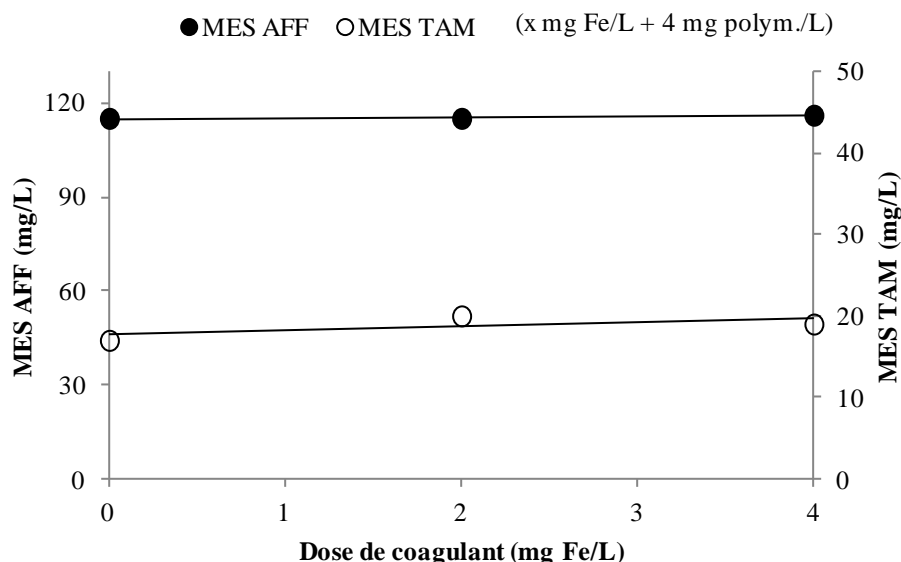


Figure 4-15 : Effet de la dose de coagulant sur les MES (poly. = 4 mg/L; MT 160 μ m)

L'ajout de polymère (4 mg/L) sans coagulant (0 mg Fe/L) durant le microtamisage de l'affluent de MBBR avec les MT 40, 80 et 160 μ m, a permis de réduire les MES au tamisat (< 20 mg/L) (Figure 4-13, 4-14 et 4-15). La variation de la dose de coagulant de 2 à 4 mg Fe/L, lorsque la dose de polymère est constante n'a pas eu d'effet sur la réduction des MES pour les MT 40, 80 et 160 μ m, par contre une légère augmentation des MES au tamisat a été observée pour les MT 80 et 160 μ m (Figure 4-14 et 4-15). Les bilans de masse réalisés autour des MT ont été compris entre :

- 90 et 101 % (MT 40 μ m);
- 92 et 99 % (MT 80 μ m) et
- 97 et 103 % (MT 160 μ m)

En conclusion le microtamisage avec les MT 40 et 80 μ m sans ajout de produits chimiques a donné des résultats intéressants concernant la réduction des MES (MES TAM < 25 mg/L), cependant l'utilisation du MT 160 μ m, a eu un effet très faible sur l'abattement des MES TAM (abattement entre 10 et 15%).

L'utilisation du polymère seul (4 mg/L) a permis de réduire les MES au tamisat (abattement entre 85 et 88 %), mais l'ajout de coagulant au polymère n'a pas amélioré l'efficacité de l'abattement des MES.

4.2 Essais pilotes

Les résultats obtenus durant les essais de laboratoire (jar test et microtamisage) ont permis de choisir le dosage de coagulant et de polymère ainsi que l'ouverture des mailles des MT à utiliser, afin de réduire les polluants présents dans l'affluent de MBBR. Les MT qui ont été retenus pour les essais pilotes sont MT 40 et 80 μm . Les résultats obtenus pour chaque MT 40 et 80 μm sont présentés en trois sous section selon les conditions d'opération suivantes :

- microtamisage avec les MT 40, 80 μm utilisé seul (sans ajout de produits chimiques);
- microtamisage avec les MT 40, 80 μm après ajout de polymère et
- microtamisage avec les MT après ajout de coagulant et de polymère.

La charge hydraulique superficielle (Chs) appliquée sur les microtamis a varié de 3 à 5 m/h pour le MT 40 μm et de 4 à 7 m/h pour le MT 80.

4.2.1 Microtamisage sans ajout de produits chimiques (MT 40 et 80 μm)

A) Abattement des MES

L'effet de l'ouverture des mailles des MT 40 et 80 μm sur l'abattement des MES de l'affluent de MBBR est présenté respectivement aux Figures 4-16 et 4-17.

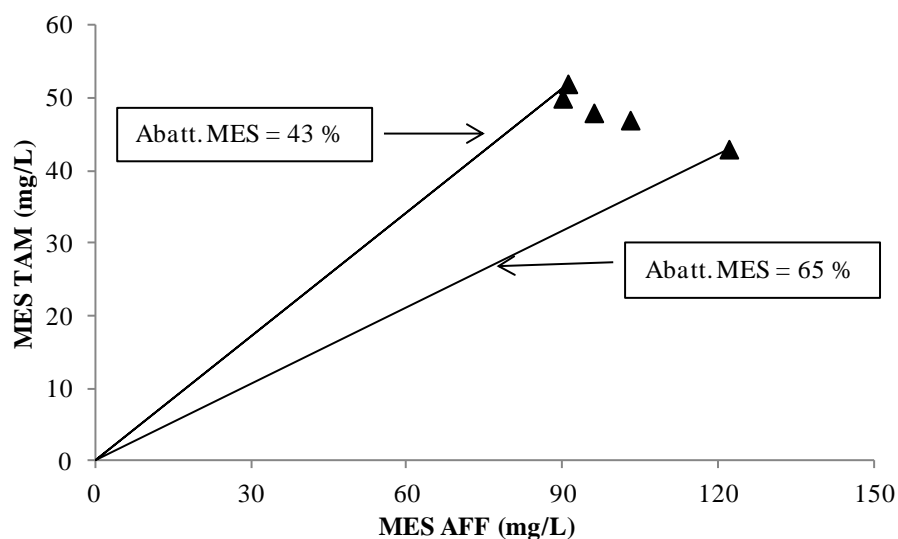


Figure 4-16 : Effet de l'ouverture des mailles du MT 40 μm sur les MES

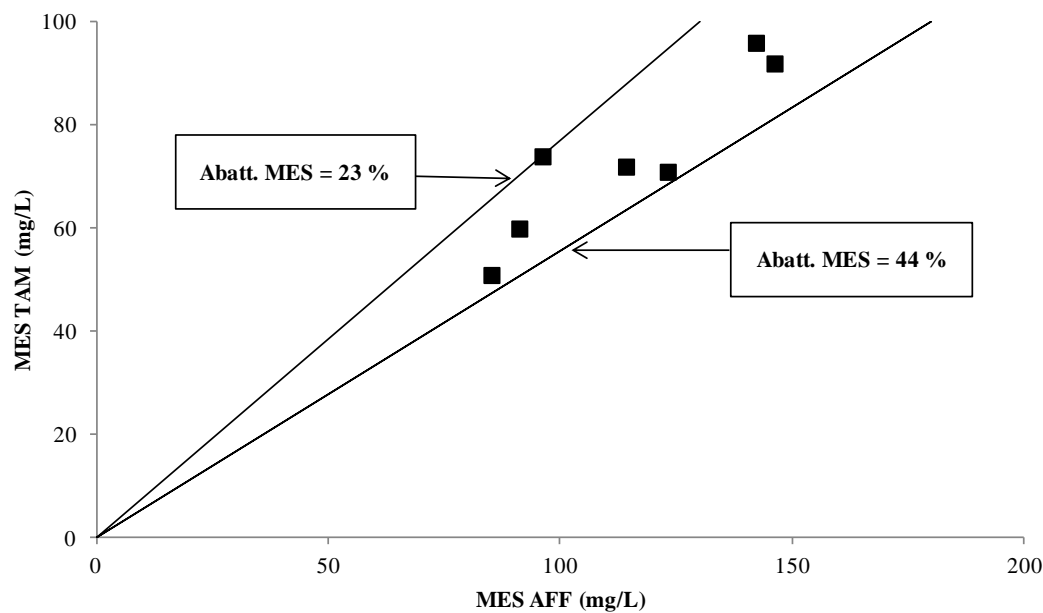


Figure 4-17 : Effet de l'ouverture des mailles du MT 80 μ m sur les MES

Le microtamisage de l'affluent avec le MT 40 μ m a permis d'avoir des abattements de MES plus élevés que ceux obtenus avec le MT 80 μ m (Figures 4-16 et 4-17). Néanmoins les concentrations minimales de MES au tamisat observées sont demeurées élevées (entre 40 et 50 mg/L). En conclusion le microtamisage avec les MT 40 et 80 μ m sans ajout de produits chimiques n'a pas permis d'atteindre la cible moyenne de 15 mg MES/L au tamisat (valeur qui a été posée comme hypothèse scientifique du présent projet – section 4.2.2). Les résultats obtenus sont détaillés à l'Annexe 3.

4.2.2 Microtamisage avec ajout de produits chimiques (MT 40 et 80 μ m)

L'effet du polymère et du coagulant sur le microtamisage de l'affluent de MBBR avec les MT 40 et 80 μ m a été déterminé en premier par rapport au polymère seul (floculation) et ensuite par rapport au coagulant et au polymère (coagulation-floculation).

4.2.2.1 MT 40 μ m

Afin de déterminer l'effet de la dose de polymère et de coagulant sur le microtamisage de l'affluent de MBBR avec le MT 40 μ m, les polluants suivants sont analysés : MES, TDCO, CSDCO, SDCO, XDCO, DBO_{C5}, TP, o-PO₄ et XP (les résultats des essais sont présentés à l'Annexe 3)

A) Abattement des MES

A-1) Polymère seul

Le polymère a été utilisé comme flocculant avec des doses comprises entre 2 et 7 mg/L. L'effet de la dose de polymère sur l'abattement des MES pendant le microtamisage de l'affluent de MBBR avec le MT 40 µm est présenté aux Figures 4-18a et 4-18b.

L'ajout de polymère seul à des doses comprises entre 2 et 7 mg/L a permis de réduire les MES au tamisat. En effet, des concentrations minimales de 8 à 14 mg MES/L au tamisat ont été observées pour des doses de polymère comprises entre 3 et 7 mg/L, équivalent aux ratios entre 33 et 71 mg polym./g MES AFF (Figures 4-18a et 4-18b).

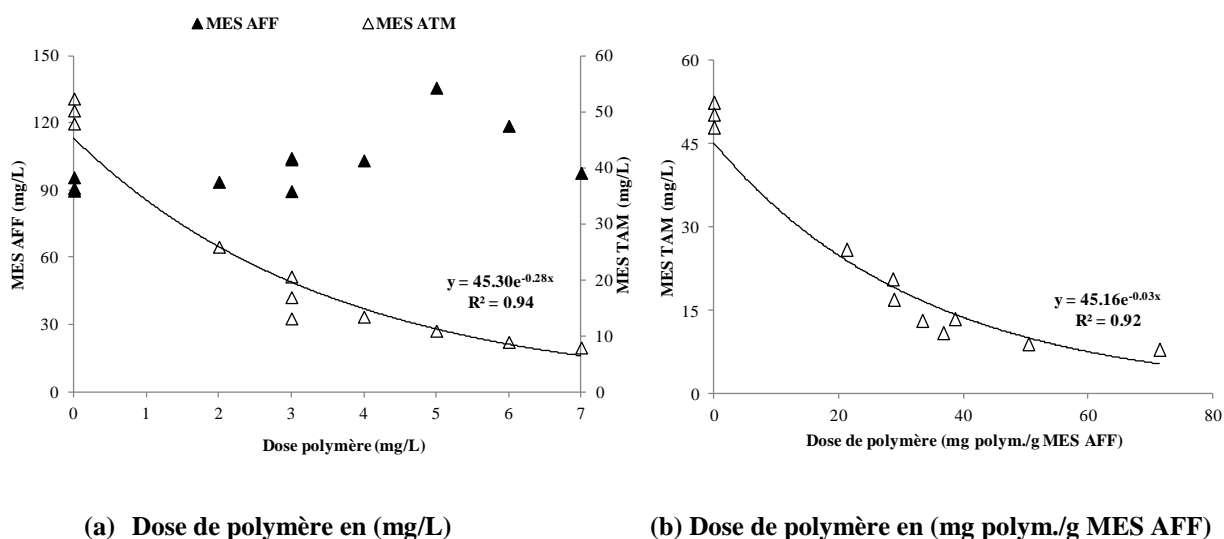


Figure 4-18 : Effet de la dose de polymère sur les MES (MT 40 µm)

A-2) Coagulant et polymère

Les doses de coagulant comprises entre 0 et 2 mg Fe/L ont été utilisées avec les doses de polymère sélectionnées d'après l'étape (A-1). L'effet de la dose de coagulant; lorsque la dose de polymère est constante; sur l'abattement des MES au tamisat pendant le microtamisage de l'affluent MBBR avec le MT 40 µm, est illustré aux Figures 4-19 et 4-20.

L'utilisation de faibles doses de coagulant (1 mg Fe/L) avec le polymère (de 3 à 5 mg/L) avec le MT 40 µm a permis de réduire les MES au tamisat (entre 10 et 15 mg/L). Néanmoins, l'utilisation de doses supérieures à 1 mg Fe/L, a entraîné une légère augmentation des MES au tamisat, qui a été attribuée à la rupture du gâteau (formé à la surface du MT) laissant passé les

particules de diamètres inférieurs à celui de l'ouverture des mailles du MT40 μm (Figure 4-19b).

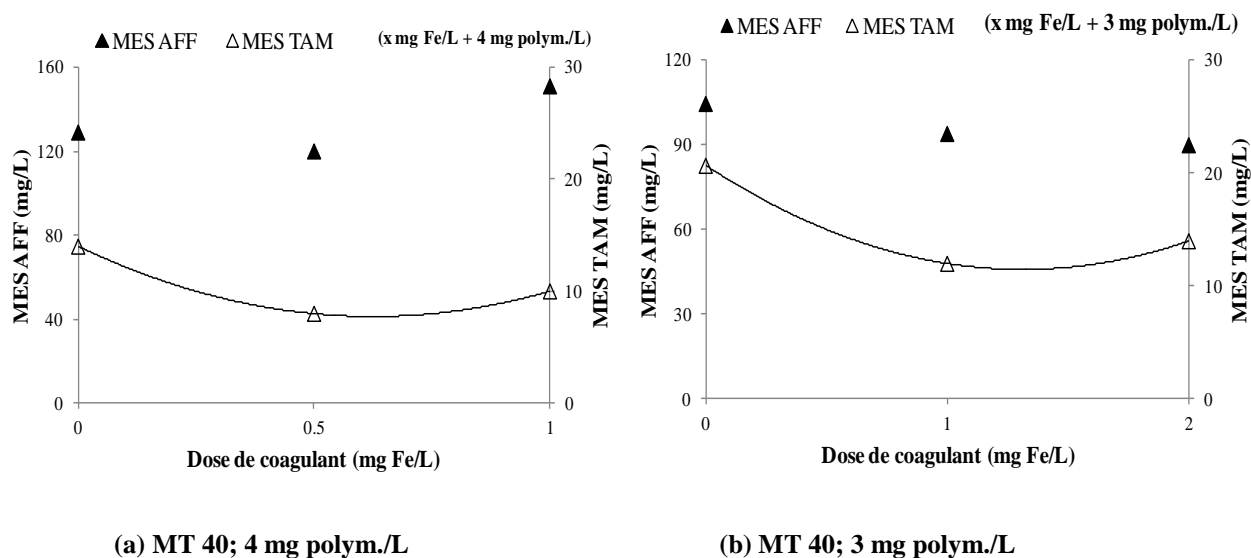


Figure 4-19 : Effet de la dose de coagulant (polym. = 4 mg/L (a) et 3 mg/L (b)) sur les MES (MT 40 μm)

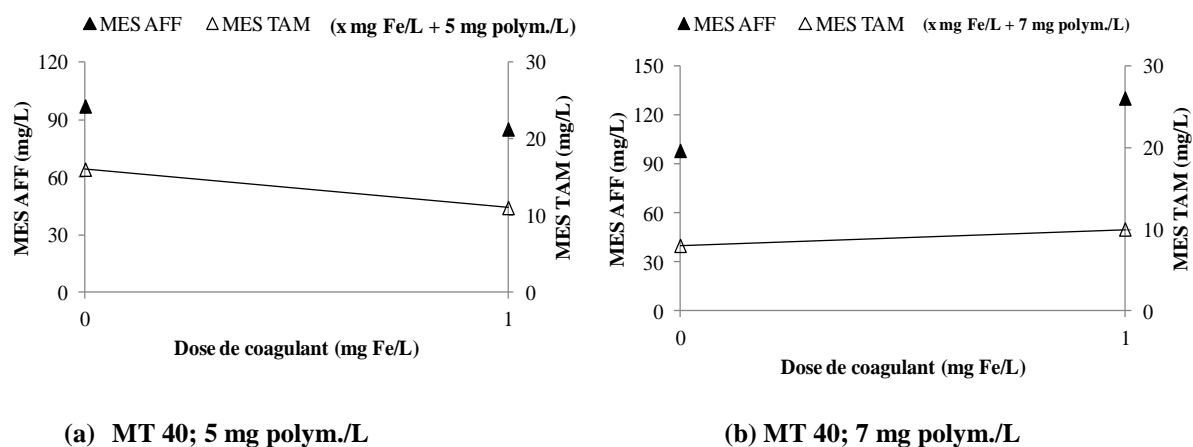


Figure 4-20 : Effet de la dose de coagulant (polym. = 5 mg/L (a) et 7 mg/L (b)) sur les MES (MT 40 μm)

En conclusion, l'ajout de polymère seul avec des doses de 3 à 7 mg/L (ou 33 à 71 mg polym./g MES AFF), pendant le microtamisage de l'affluent de MBBR avec le MT 40 μm , a permis d'obtenir des concentrations de MES au tamisat inférieures à 15 mg/L. l'ajout de faibles doses de coagulant (1 mg Fe/L) lorsque la dose de polymère est comprise entre 3 et 5 mg/L a permis de réduire les MES au tamisat jusqu'à 10 mg/L.

B) Abattement de TDCO, SDCO et XDCO

$\text{pH} = 7.1 \pm 0.2$ et $T = 15.6 \pm 1.3$ °C

Les doses de polymères (3, 4 et 7 mg /L) qui avaient permis d'avoir les concentrations les plus faibles de MES au tamisat (section A-1) ont été utilisées pour déterminer l'abattement de la TDCO, SDCO et XDCO. L'effet de la dose de polymère sur l'abattement de la TDCO, SDCO et XDCO, pendant le microtamisage de l'affluent de MBBR avec le MT 40 μm est présenté respectivement aux Figures 4-21, 4-22a et 4-22b.

L'ajout de doses comprises entre 3 et 7 mg polym./L a permis de réduire la TDCO et la XDCO (Figures 4-21 et 4-22a), mais n'a eu aucun effet sur la SDCO (Figure 4-21b). Néanmoins les valeurs minimales TDCO et XDCO observées sont demeurées constantes au-delà de 4 mg polym./L.

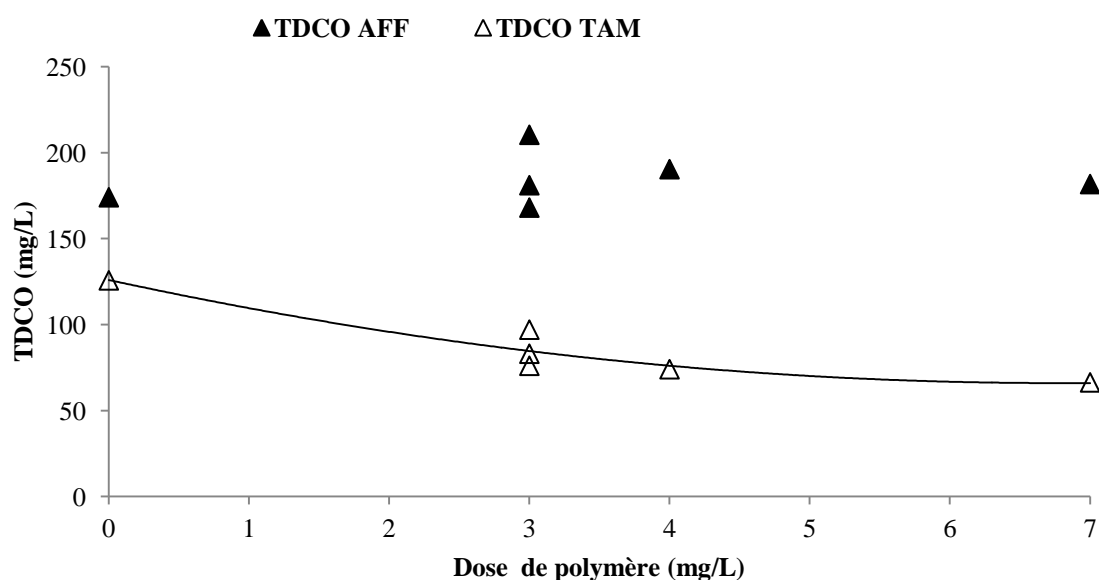


Figure 4-21 : Effet de la dose de polymère sur la TDCO MT 40 μm

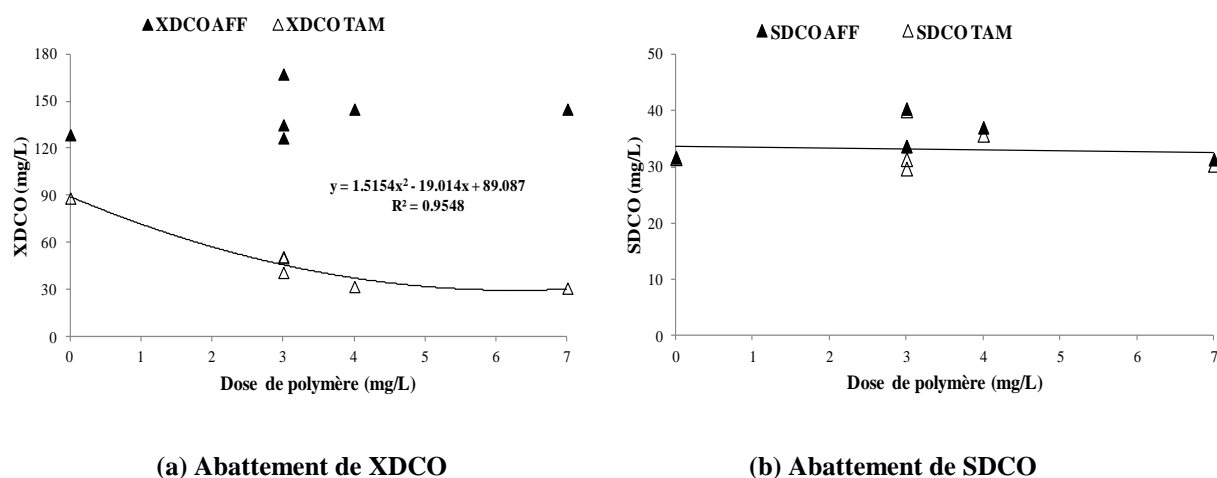


Figure 4-22 : Effet de la dose de polymère sur la XDCO (a) et la SDCO (b) (MT 40 μ m)

En conclusion l'utilisation de polymère avec les doses de 3 et 4 mg/L a permis de réduire la TDCO (abattements de 60%) et la XDCO (abattement > 70%), par contre aucun effet n'a été observé sur la réduction de la SDCO.

C) Abatement de la DBO₅-C

C-1) Polymère seul

Les doses de polymère utilisées ont été 0, 3 et 5 mg/L. L'effet de la dose de polymère sur l'abattement de DBO₅-C pendant le microtamisage de l'affluent de MBBR avec le MT 40 μ m est présenté à la Figure 4-23.

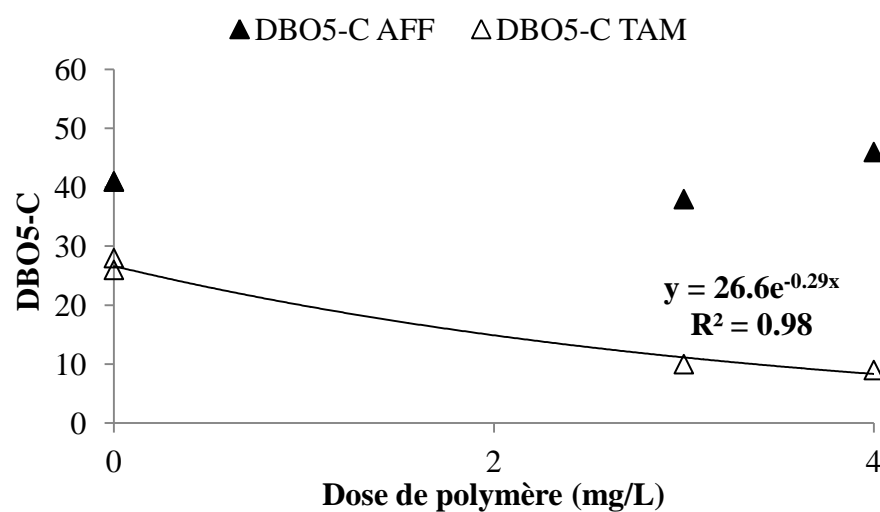


Figure 4-23 : Effet de la dose de polymère sur la DBO₅-C (MT 40 μ m)

La concentration de la DBO₅-C au tamisat a diminué suite l'ajout de polymère (3 à 5 mg/L) pendant le microtamisage de l'affluent de MBBR avec le MT 40 µm et des valeurs minimales de DBO₅-C < 10 mg/L ont été observées (Figure 4-23)

C-2) Coagulant et polymère

Le coagulant a été utilisé avec deux doses de 0.5 et 1 mg Fe/L, tandis que la dose de polymère a été maintenue constante à 4 mg/L (Valeur au delà de laquelle la DBO₅-C au tamisat est demeurée constante).

L'effet de la dose de coagulant lorsque la dose de polymère est constante, sur l'abattement de la DBO₅-C au tamisat pendant le microtamisage de l'affluent MBBR avec le MT 40 µm, est illustré à la Figure 4-24.

Les doses de coagulant (0.5 et 1 mg Fe/L) ajoutées au polymère (4 mg/L) n'ont pas eu d'effet sur l'abattement de la DBO₅-C au tamisat. Cette dernière est demeurée constante (Figure 4-24).

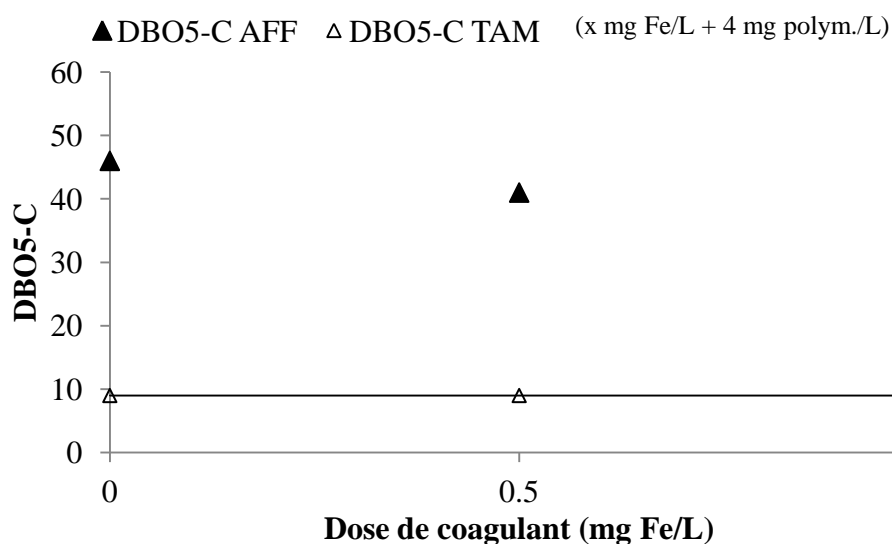


Figure 4-24 : Effet de la dose de coagulant (polym. = 4 mg/L) sur la DBO₅-C (MT 40 µm)

En conclusion l'utilisation de polymère à des doses entre 3 et 5 mg/L, pendant le microtamisage de l'affluent de MBBR avec le MT 40 µm, a permis d'atteindre des abattement de 70 à 80% sur de la DBO₅-C au tamisat. Par contre l'ajout de faibles doses de coagulant avec la dose de 4 mg polym./L, n'a pas amélioré l'abattement de la DBO₅-C.

D) Abattement de TP, O-PO₄ et XP

D-1) Polymère seul

Afin de déterminer l'effet de la floculation sur le microtamisage, le polymère a été ajouté seul à l'affluent de MBBR avec des doses de 3 à 7 mg polym./L. L'effet de la dose de polymère sur l'abattement de TP, o-PO₄ et XP, pendant le microtamisage de l'affluent de MBBR avec le MT 40 µm est présenté respectivement aux Figures 4-25, 4-26a et 4-26b.

L'augmentation de la dose de polymère a entraîné une diminution du TP au tamisat, principalement sous forme particulaire XP (Figures 4-25 et 4-26a), mais n'a pas eu d'effet sur les o-PO₄ (Figure 4-26b).

En résumé les doses de polymère utilisées jusqu'à 7 mg/L ont considérablement réduit le XP (abattement de 85%), mais n'ont eu aucun effet sur les o-PO₄. L'abattement de TP a été relativement faible (43%) avec une concentration au tamisat de (2 mg P/L).

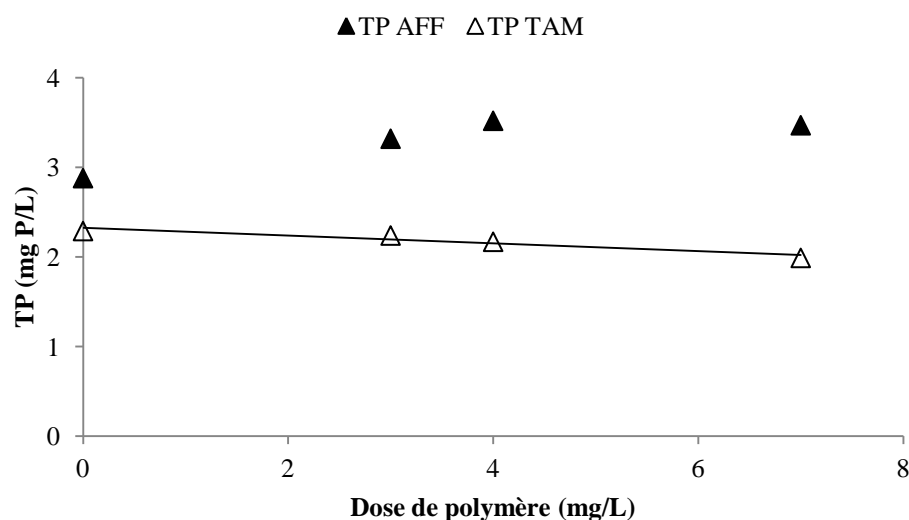
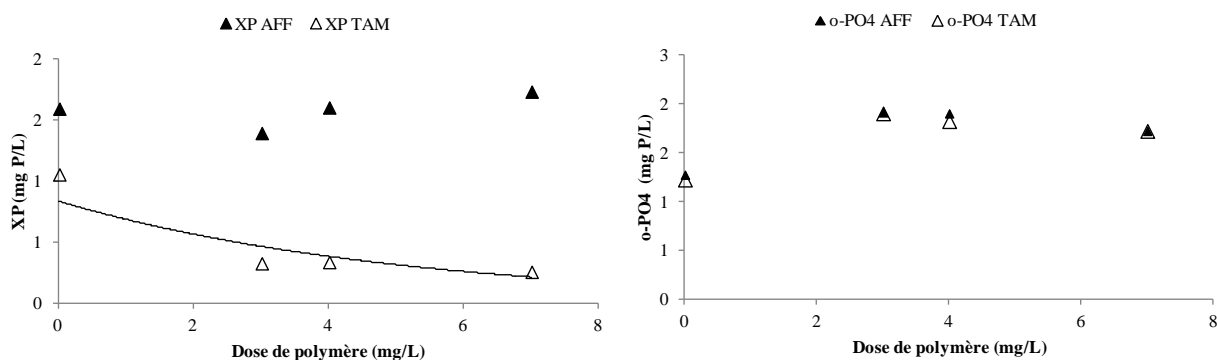


Figure 4-25 : Effet de la dose de polymère sur TP (MT 40 µm)



(a) XP en fonction du dosage de polymère

(b) o-PO₄ en fonction du dosage de polymèreFigure 4-26 : Effet de la dose de polymère sur les XP (a) et o-PO₄ (b) (MT 40 µm)

4.2.2.2 MT 80 µm

Afin de déterminer l'effet de la dose de polymère et de coagulant sur le microtamisage de l'affluent de MBBR avec le MT 80 µm, les polluants suivants sont analysés : MES, TDCO, CSDCO, XDCO, TP, o-PO₄ et XP (les résultats des essais sont présentés à l'Annexe 3).

A) Abattement des MES

A-1) Polymère seul

Le polymère a été utilisé seul comme flocculant avec des doses comprises entre 2 et 4 mg/L. L'effet de la dose de polymère sur l'abattement des MES pendant le microtamisage de l'affluent de MBBR avec le MT 80 µm est présenté aux Figures 4-27 et 4-28.

L'ajout de doses de polymère comprises entre 2 et 4 mg/L a permis de réduire les MES au tamisat. En effet des concentrations minimales de 11 mg MES/L (Figure 4-27a) et 13 mg MES/L (Figure 4-27b) ont été observées pour des doses de polymère respectives de 4 et 3 mg/L.

L'utilisation de polymère avec un ratio compris entre 30 et 40 mg polym./g MES AFF (Figure 4-28) a permis d'atteindre des concentration de MES au tamisat inférieures à 15 mg/L.

L'augmentation de la Charge hydraulique superficielle (Chs) a augmenté les MES au tamisat lorsque la dose de polymère a été nulle (MT seul), mais cette augmentation n'a eu aucun effet sur les MES au tamisat lorsque le polymère a été ajouté (Figure 4-27a, 4-27b).

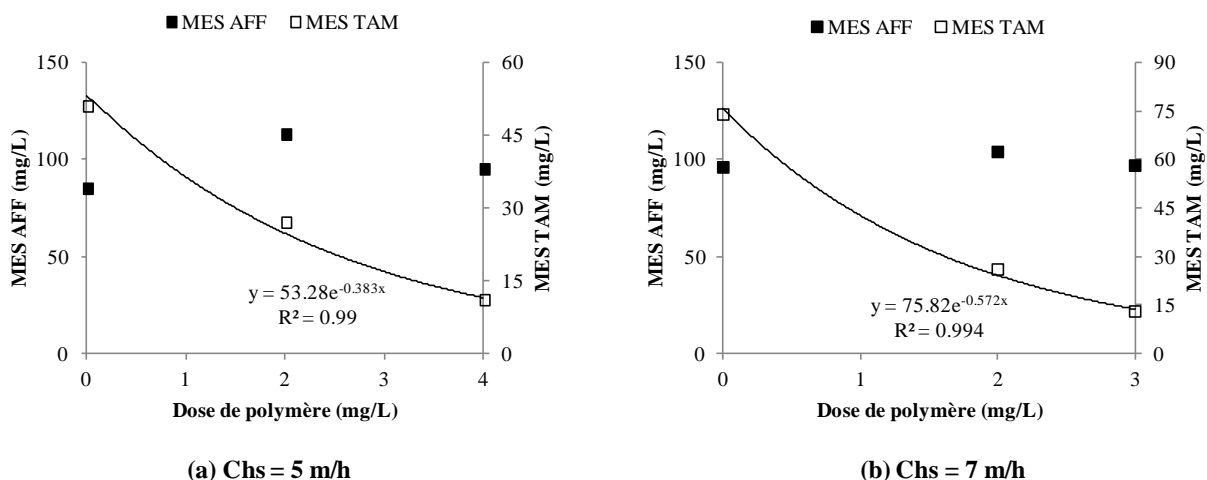


Figure 4-27 : Effet de la dose de polymère sur les MES (Chs = 5 m/h (a) et Chs = 7 m/h (b); MT 80 μ m)

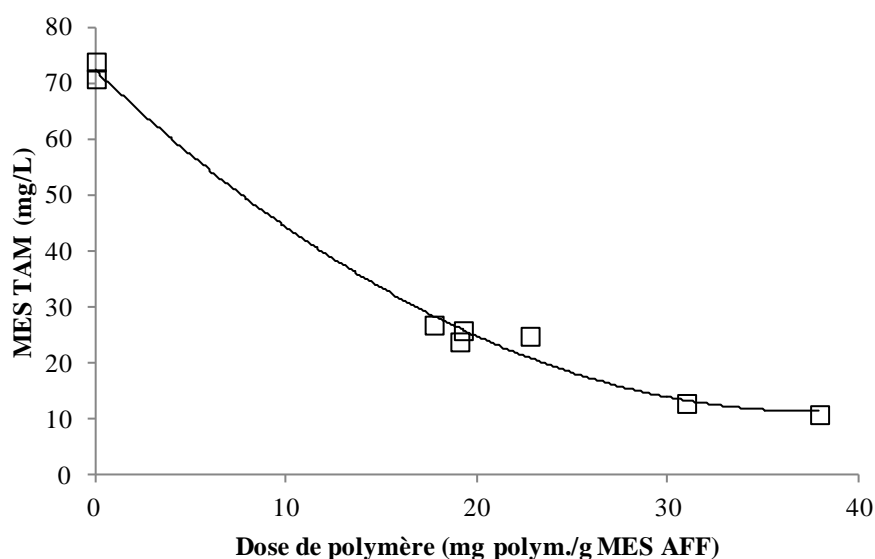


Figure 4-28 : Effet de la dose de polymère (mg polym./g MES AFF) sur les MES (MT 80 μ m)

A-2) Coagulant et polymère

Les doses de coagulant comprises entre 0 et 5 mg Fe/L ont été utilisées avec des doses constantes de 2 mg polym./L et entre 3 et 4 mg polym./L. L'effet de la dose de coagulant lorsque la dose de polymère est constante sur l'abattement des MES au tamisat pendant le microtamisage de l'affluent MBBR avec le MT 80 μ m, est illustré aux Figures 4-29a et 4-29b.

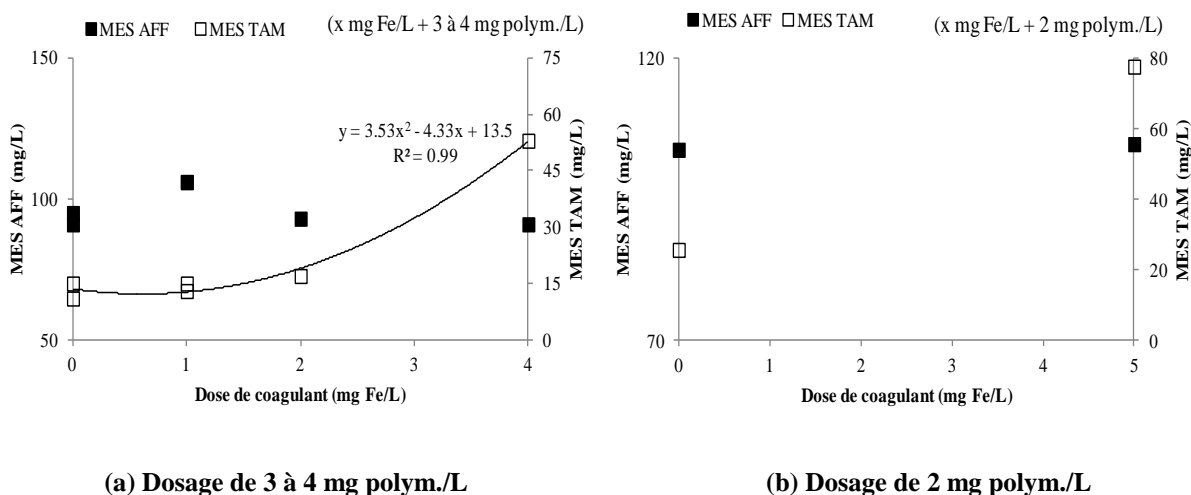


Figure 4-29 : Effet de la dose de coagulant (polym. = 3 à 4 mg/L (a) et polym. = 2 mg/L (b)) sur les MES (MT 80 µm)

Le coagulant ajouté à de faibles doses (1 mg Fe/L) en présence de polymère (3 à 4 mg polym./L) n'a pas réduit les MES au tamisat et aucune diminution n'a été observée (Figure 4-29a). Par contre l'ajout de fortes doses de coagulant (2 à 5 mg Fe/L) a entraîné une augmentation des MES au tamisat et qui a été attribuée à la rupture du gâteau (formé à la surface du MT) laissant passé les particules de diamètres inférieurs à 80 µm.

En conclusion la floculation de l'affluent de MBBR avec du polymère (3 à 4 mg/L ou 30 à 40 mg polym/g MES AFF) avant son microtamisage avec le MT 80 µm a permis de réduire les MES au tamisat jusqu'à 15 mg/L. l'ajout de fortes doses de coagulant n'a pas été utile et a eu un effet contraire aux attentes en augmentant les MES au tamisat.

B) Abattement de la TDCO, SDCO et XDCO (avec polymère seulement)

Les doses de polymères (3 et 4 mg polym./L) qui ont donné les meilleurs abattements de MES (section D-1) ont été utilisées pour déterminer l'abattement de la TDCO, SDCO et XDCO.

L'effet de la dose de polymère sur l'abattement de la TDCO, SDCO et XDCO, pendant le microtamisage de l'affluent de MBBR avec le MT 80 µm est présenté respectivement aux Figures 4-30, 4-31a et 4-31b.

La variation des doses de polymère entre 3 et 4 mg/L a permis de réduire la TDCO et XDCO (Figures 4-30 et 4-31a), par contre elle n'a eu aucun effet sur la SDCO (Figures 4-31b).

En conclusion l'utilisation de 4 mg polym./L a permis de réduire la TDCO, et principalement la

XDCO (abattement > 80%), mais n'a eu aucun effet sur la SDCO qui est demeurée constante.

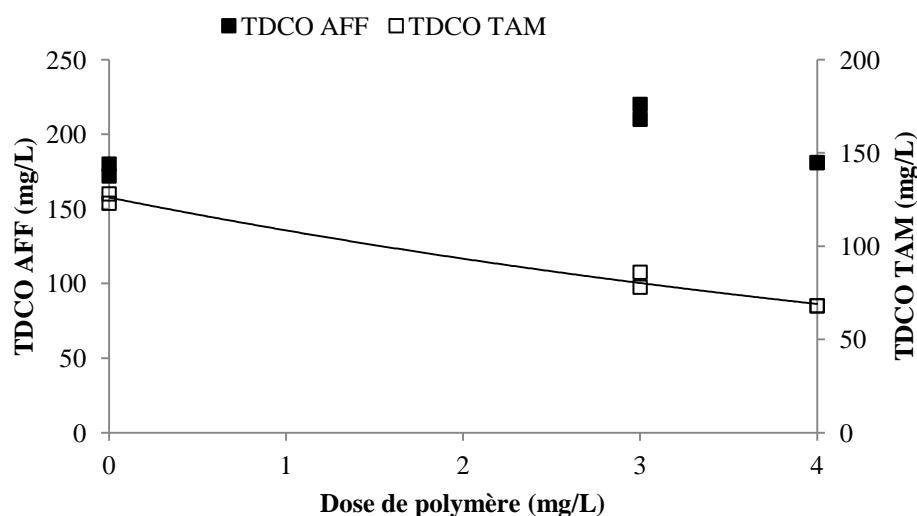
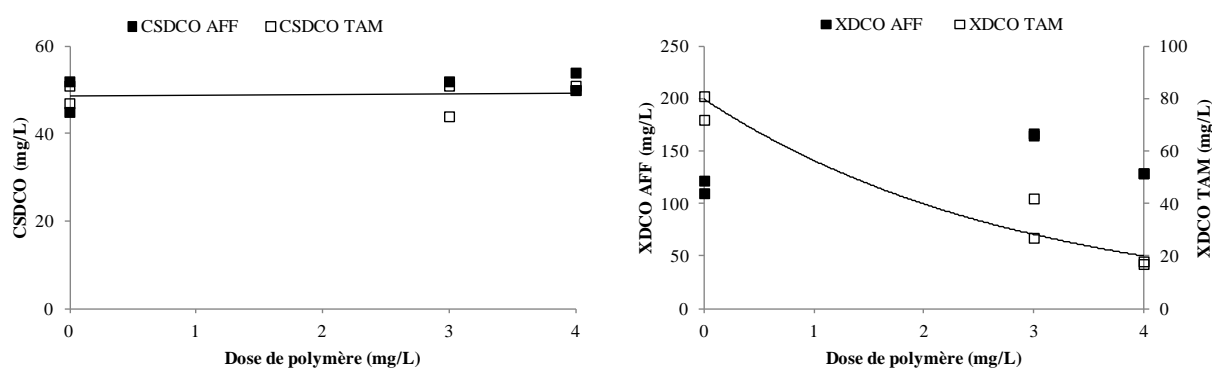


Figure 4-30 : Effet de la dose de polymère sur la TDCO (MT 80 µm)



(a) XDCO en fonction de la dose de polymère

(b) SDCO en fonction de la dose de polymère

Figure 4-31 : Effet de la dose de polymère sur la XDCO (a) SDCO (b) (MT 80 µm)

C) Abattement de TP, o-PO₄ et XP

C-1) Polymère seul

Afin de déterminer l'effet de la floculation sur le microtamisage, le polymère a été ajouté seul à l'affluent de MBBR. L'effet de la dose de polymère sur l'abattement de TP, o-PO₄ et XP, pendant le microtamisage de l'affluent de MBBR avec le MT 80 µm est présenté respectivement aux Figures 4-32, 4-33a et 4-33b.

L'ajout de polymère à des doses supérieures à 3 mg/L a réduit considérablement XP (Figure 4-

33a), mais n'a eu aucun effet sur les o-PO₄ (4-33b). En résumé le polymère utilisé à des doses supérieures à 3 mg/L, ont eu un effet uniquement sur le XP (abattement > 80%).

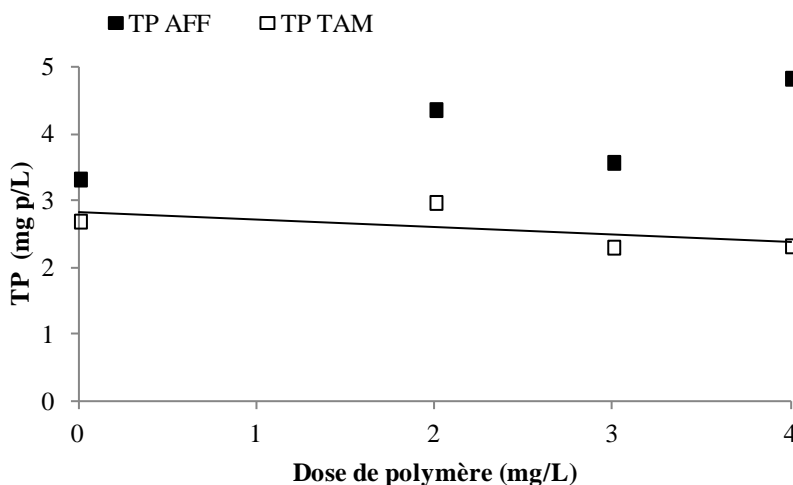
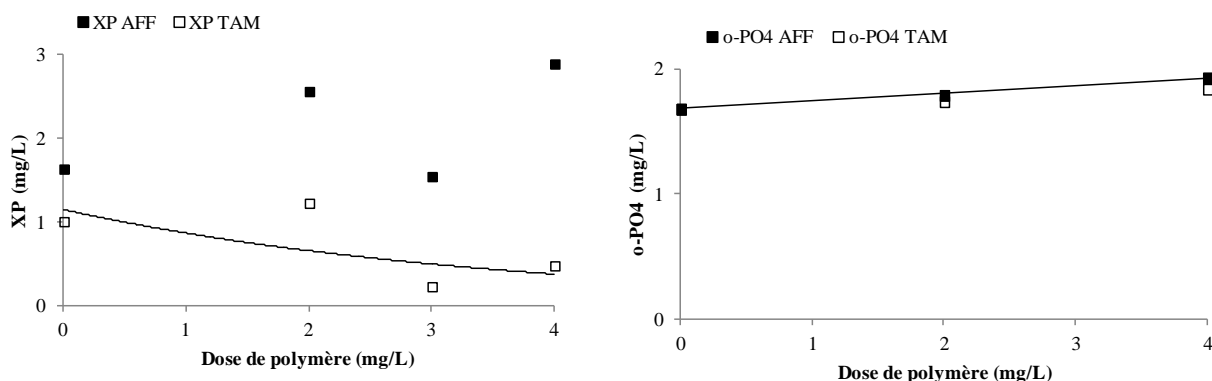


Figure 4-32 : Effet de la dose de polymère sur TP (MT 80 µm)



(a) XP en fonction de la dose de polymère (b) o-PO₄ en fonction de la dose de polymère

Figure 4-33 : Effet de la dose de polymère sur XP(a) et o-PO₄(b) (MT 80 µm)

C-2) Coagulant et polymère

Afin de déterminer l'effet du coagulant (en présence de polymère) sur le microtamisage, le coagulant a été ajouté en fortes doses (4 et 5 mg Fe/L) à l'affluent de MBBR. L'effet de la dose de coagulant sur l'abattement de TP, o-PO₄ et XP, pendant le microtamisage de l'affluent de MBBR avec le MT 80 µm est présenté respectivement aux Figures 4-34, 4-35a et 4-35b.

Les essais de coagulation et floculation de l'affluent de MBBR qui ont été réalisés avec : A) 5 mg Fe/L et 2 mg polym./L et B) 4 mg Fe/L et 3 mg polym./L, ont permis de réduire les o-PO₄ au tamisat (Figure 4-34), mais ont résulté en une augmentation de XP attribuée à la rupture du gâteau (formé à la surface du MT) laissant passé les particules de diamètres inférieurs à 80 µm (Figure 4-35b).

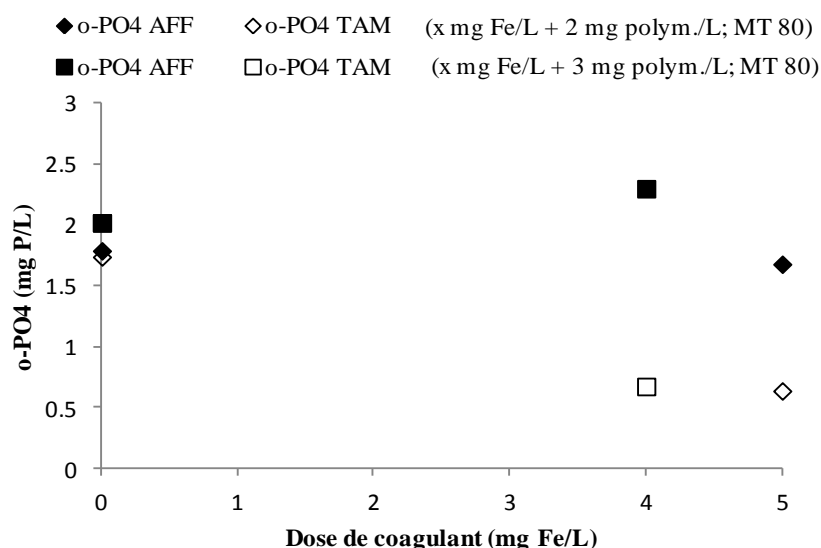
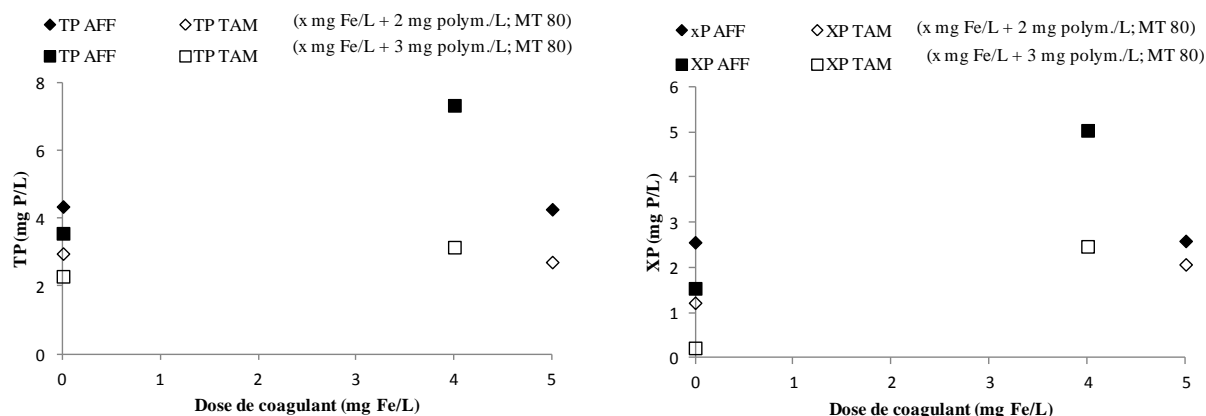


Figure 4-34 : Effet de la dose de coagulant sur les o-PO₄ (polym. = 2 et 3 mg/L; 80 µm)



(a) TP en fonction de la dose de polymère (b) XP en fonction de la dose de polymère

Figure 4-35 : Effet de la dose de coagulant sur TP(a) et XP(b) (polym. = 2 et 3 mg/L; MT 80 µm)

4.2.3 Distribution de la taille des particules

Durant les essais effectués avec le MT 40 μm , quelques échantillons ont été analysés avec le Mastersizer 3000 afin de déterminer la distribution de la taille des particules.. La distribution de la taille des particules de l'échantillon du 31-10-2012 et de l'échantillon du 05-11-2012 est présentée respectivement aux Figures 4-36 et 4-37.

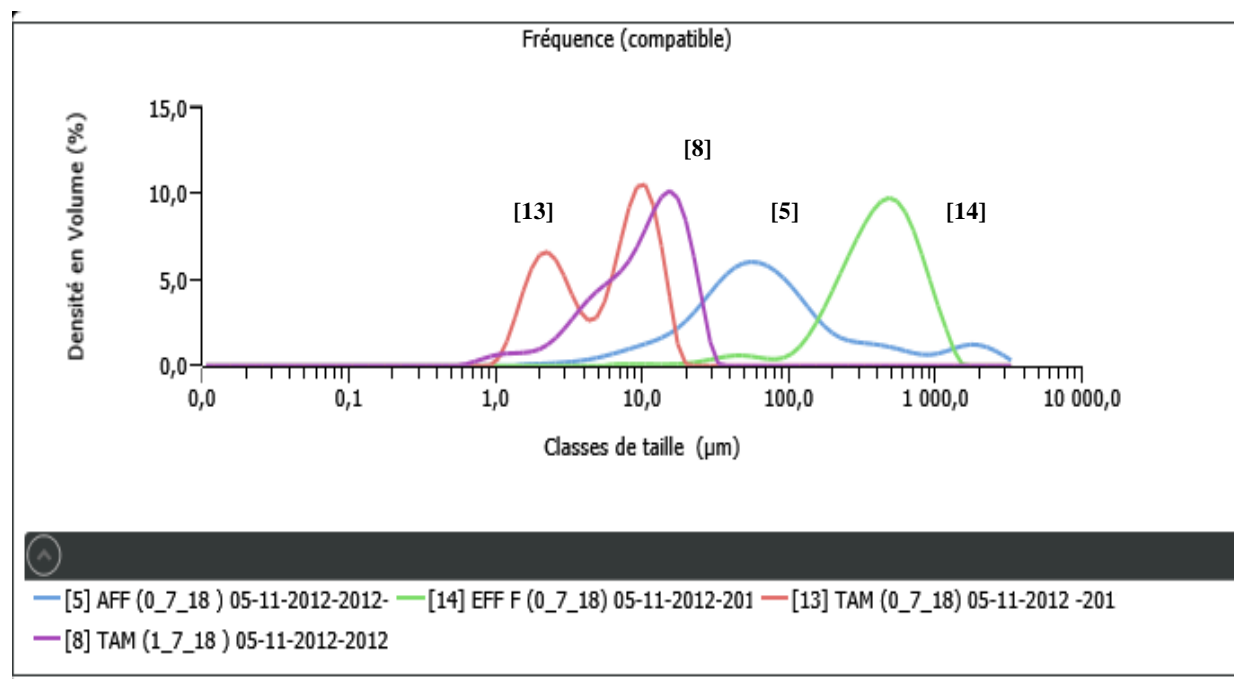


Figure 4-36 : Distribution de la taille des particules de l'échantillon du 05-11-2012 (AFF, EFF_F et TAM), avec le MT 40 μm

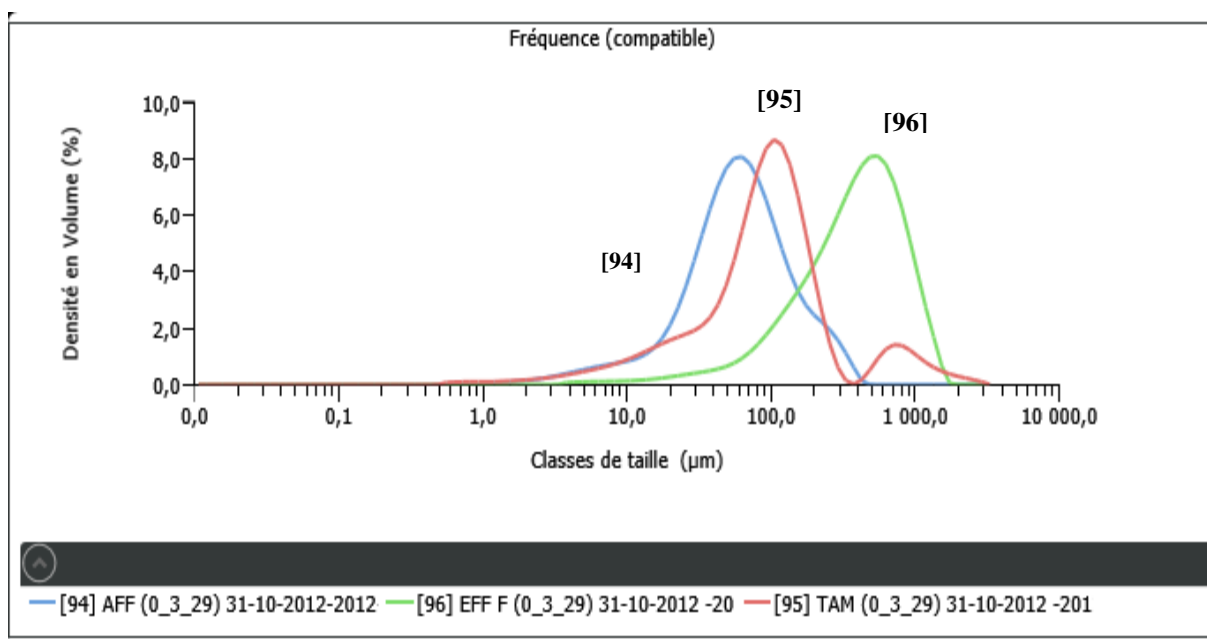


Figure 4-37 : Distribution de la taille des particules de l'échantillon du 31-10-2012 (AFF, EFF_F et TAM), avec le MT 40 μ m

L'effet de l'ajout du polymère sur la taille des particules est très significatif, puisque les courbes no.14 et no. 96 de l'effluent floculé (Figures 4-36 et 4-37, se sont retirées à la droite par rapport aux courbes no 5 et no.94 (représentant l'affluent) ce qui a signifié l'augmentation de la taille des particules de l'effluent floculé. L'efficacité du microtamisage (MT 40 μ m) avec ajout de 7 mg./L de polymère a été significative (courbe no.13) car les particules de diamètre plus grand que 40 μ m, ont étaient enlevées et la courbe s'est terminée aux valeurs comprises entre 30 et 40 μ m sur l'axe des X (taille des articles). L'ajout de coagulant (1 mg Fe/L) et de polymère (7 mg/L) a aussi permis d'éliminer les particules de diamètre plus grand que 40 μ m (courbe no.8). Néanmoins un phénomène de refloculation des particules au tamisat a été observé (courbe no.95 de la Figure 4-37) avec l'apparition de particules de tailles supérieures 40 μ m. Ce phénomène a été attribué au délai écoulé entre l'échantillonnage et l'analyse.

4.3 Synthèse des résultats

Les résultats obtenus durant les essais de laboratoire et les essais pilotes sont résumés aux Tableaux 4-1 et 4-2. Les résultats des essais de laboratoire et des essais pilotes sans ajout de produits chimiques ont démontré une divergence par rapport aux concentrations de MES observées au tamisat. L'abattement des MES avec les MT 40 et 80 μ m durant les essais de laboratoire a été plus élevé car la durée de microtamisage a été plus longue (>30 minutes) et il

n'y a pas eu de lavage du MT qu'à la fin de l'essai et de ce fait une couche dynamique épaisse s'est formée et a aidé à réduire les MES. Par contre, durant les essais pilotes la couche dynamique ne s'est formée que durant quelques minutes car le lavage automatique s'est déclenché à chaque fois que le niveau de l'affluent à l'intérieur de filtre à disques a augmenté de 30 cm. Les doses de polymère (de 3 à 4 mg/L) ajoutées durant le microtamisage de l'affluent de MBBR avec les MT 40 et 80 µm ont permis d'avoir des concentrations de MES au tamisat < 15 mg/L pour les essais de laboratoire et les essais pilotes. Les abattements de MES, TDCO ont été plus élevés durant les essais de laboratoire à cause de la courte durée de microtamisage par rapport à celle des essais pilotes qui a été plus longue (colmatage des MT). La coagulation-floculation durant les essais de laboratoire, avec les doses de 4 mg Fe/L et 2 à 3 mg polym./L (MT 80 µm) a permis de réduire le TP à des valeurs inférieures à 1mg P/L. Par contre les doses de coagulant et de polymère utilisées (2 à 5 mg Fe/L et 2 à 3 mg polym./L) durant les essais pilotes n'ont pas permis de réduire le TP et une augmentation des MES au tamisat a été observée.

Tableau 4-1: Résultats des essais de laboratoire et des essais pilotes (sans ajout de produits chimiques)

MT	ESSAIS DE LABORATOIRE						ESSAIS PILOTES								
	MES		Abatt.	TDCO		Abatt.	MES		Abatt.	TDCO		Abatt.	TP		Abatt.
Unités	AFF	TAM		AFF	TAM		AFF	TAM		AFF	TAM		AFF	TAM	
µm	mg/L		%	mg/L		%	mg/L		%	mg/L		%	mg P/L		%
40	110 - 130	16 - 21	84	252	117	54	90 - 120	43 - 52	43 - 65	174	126	28	2.9	2.3	21
80	110 - 130	17 - 34	70 - 87	241	156	35	85 - 150	23 - 42	23 - 42	172	128	26	3.3	2.7	18
160	100 - 200	102 - 150	9 - 40	291	211	27									

Tableau 4-2 : Résultats des essais de laboratoire avec les MT 40, 80 et 160 µm (avec ajout de produits chimiques)

MT	Coag.	polym.	MES		TDCO		TP		Abattement		
			AFF	TAM	AFF	TAM	AFF	TAM	MES	TDCO	TP
µm	mg Fe/L	mg/L	mg/L		mg/L		mg P/L		%	%	%
40	0	3 - 4	160 ± 60	11 ± 3	362 ± 6	90 ± 8	5.8	2.5	92 ± 2	74 ± 2	57
	4	3	229 ± 2	15 ± 1	382 ± 6	80 ± 7	5.8	1.6	93 ± 1	79 ± 2	73
80	0	2	188 ± 4	13 ± 2	252 ± 5	43 ± 2	4.4	1.7	93 ± 1	82 ± 1	61
	4	2	189 ± 7	12 ± 2	261 ± 11	44 ± 7	4.4	0.9	94 ± 2	83 ± 2	81
160	0	3	235 ± 2	18 ± 1	378 ± 9	84 ± 3			92 ± 1	78 ± 4	

Tableau 4-3 : Résultats des essais pilotes avec les MT 40, 80 µm (avec ajout de produits chimiques)

MT	Coag.	polym.		MES		TDCO		TP		Abattement		
				AFF	TAM	AFF	TAM	AFF	TAM	TP	MES	TDCO
µm	mg Fe/L	mg/L	mg polym / g MES AFF	mg/L		mg/L		mg P/L		%		
40	0	3	33	90 ± 2	13 ± 1	210 ± 8	83 ± 3	3.4 ± 0.5	2.1 ± 0.1	38 ± 5	85 ± 1	61 ± 1
	0	4	39	104 ± 10	14 ± 2	190 ± 9	74 ± 3				87 ± 1	61 ± 1
	0	7	71	98 ± 8	8 ± 1	181 ± 1	66 ± 1				92 ± 1	63 ± 1
	1	4 - 7		130 ± 20	10 ± 3			3.7 ± 0.2	2.7 ± 0.6	29 ± 10	92 ± 1	
80	0	3 - 4	31 - 38	95 ± 10	11 ± 4	181 ± 6	68 ± 3	4.2 ± 0.6	2.3 ± 0.1	44 ± 8	86 ± 1	61 ± 1
	1	4		106 ± 35	14 ± 5						86 ± 1	
	4	3		91 ± 20	53 ± 10			7	3	57	41 ± 2	

4.4 Validation des résultats

Les deux méthodes sur lesquelles s'est basée la validation des résultats ont été les bilans de masse (MES et TDCO) autour du filtre à disques et la lecture des MES à l'affluent et au tamisat par les sondes Solitax (voir Annexe 3)

4.4.1 Bilan de masse

Les résultats des bilans de masse des MES et de la TDCO obtenus sont résumés comme suit :

MT 40 µm : entre 79 à 93 % pour les MES et entre 82 à 95 % pour la TDCO

MT 80 µm : entre 81 à 96 % pour les MES et entre 84 à 91 % pour la TDCO.

Tenant compte de la faiblesse des bilans de masse minimales et après investigation il s'est avéré l'existence d'une accumulation de boues à l'intérieur et à l'extérieur des disques du filtre, à la fin des essais après plusieurs cycles de lavages (Figure 4-38). L'accumulation qui a été observée a été attribuée à un :

- 1- Lavage moins performant des microtamis surtout à la fin des essais et au
- 2- Retour d'une partie du rétentat à l'affluent causé par la chute des boues à l'extérieur de la goulotte durant le lavage des microtamis.

4.4.1.1 Calcul de la masse de boue accumulée à l'intérieur des disques et sur les MT

La masse de boue accumulée à l'intérieur des disques (Figures 4-39a, b et c) a été calculée en utilisant les bilans de masse des MES car il a été difficile de mesurer le volume du rétentat à la fin des essais en l'absence d'une cuve de récupération du rétentat et d'une pompe pour la vidange

des boues.

Le calcul de l'accumulation a été basé sur l'hypothèse de la fermeture du bilan à 100%, et en utilisant l'équation 3.11, l'accumulation a été calculée ainsi :

$$ACC (\%) = 100 - \text{Bilan de masse des MES} \quad (4.1)$$

$$F_{ACC} (\text{g/essai}) = ACC (\%) \times [F_{AFF} + F_{coag.} + F_{polym.}] (\text{g/essai}) \quad (4.2)$$

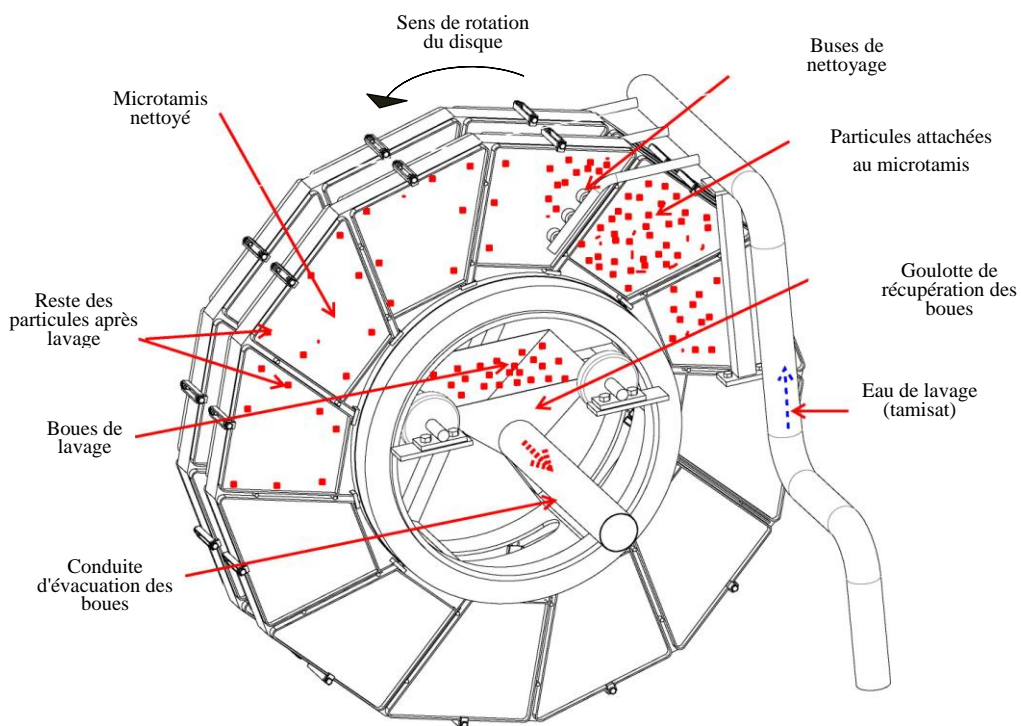
où, $ACC (\%)$: pourcentage d'accumulation de MES

$F_{ACC} (\text{g/essai})$: flux de la masse accumulée.

Afin de déterminer les facteurs les plus importants qui ont influencé l'accumulation des boues une méthode d'analyse statistique a été réalisée avec l'aide de M. Bernard Clément, Ph.D., professeur au département des mathématiques à l'École Polytechnique de Montréal. L'analyse des données (Tableau 4-4 et 4-5) par la méthode *forward stepwise* (voir Annexe 4) a permis de dégager un modèle prédictif avec un bon pouvoir explicatif ($R = 0.90$) et de retenir les 2 effets d'interaction suivants : $X1(Q_{AFF}) * X3(\text{durée})$ et $X1(Q_{AFF}) * X2 (\text{dose de polymère})$. L'accumulation à l'intérieur des disques de MES pendant un essai (Y) est corrélée au volume d'eau total traité ($Q_{AFF} * \text{durée}$) et à la masse totale de polymère ajoutée ($Q_{AFF} * \text{dose de polymère}$).

Le modèle prédictif s'est écrit :

$$Y (\text{accumulation}) = - 0,990 + 0,02425 * X1 * X2 + 0,01440 * X1 * X3 \quad (4.3)$$



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Figure 4-38 : Schéma du fonctionnement du filtre à disques pendant le lavage

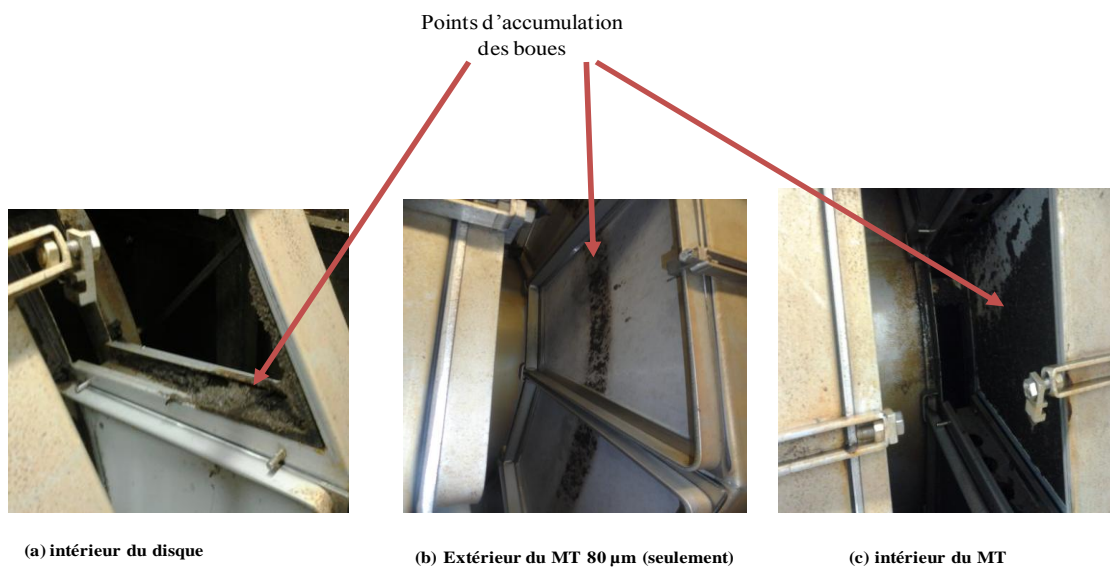


Figure 4-39 : Photos de l'accumulation des boues à l'intérieur des disques (a) du filtre, à l'extérieur du MT 80 μ m (b) et à l'intérieur des MT 40 et 80 μ m

Tableau 4-4 : Données de calcul des bilans de masse et de l'accumulation sur les MES (MT 40 µm)

Date	Code de l'essai	Coag.	Polym.	Chs.	Durée de microtamisage	MES AFF	MES TAM	MES RET	F _{AFF} + F _{Coag.} + F _{Polym.}	F _{TAM}	F _{RET}	Bilan de masse	Accumulation	
Unités		mg Fe/L	mg/L	m/h	h	mg/L			g/essai			%	%	x 1000 g/essai
23-10-2012	(0_0_15)	0	0	3	1	91	52	3400	1370	780	400	86	14	0.2
23-10-2012	(0_3_14)	0	3	3	0.7	90	13	9100	866	122	682	93	7	0.1
24-10-2012	(0_3_25)	0	3	4	14	104	17	7100	36100	5500	23100	79	21	7.5
31-10-2012	(0_3_29)	0	3	5	12	105	21	8200	36800	7000	24000	84	16	5.8
02-11-2012	(0_4_32)	0	4	6	12	104	14	8800	38700	4800	25900	79	21	8.0
05-11-2012	(0_7_18)	0	4	3	17	98	8	9000	30600	2600	23500	84	16	4.8

Tableau 4-5 : Données de calcul des bilans de masse et de l'accumulation sur les MES (MT 80 µm)

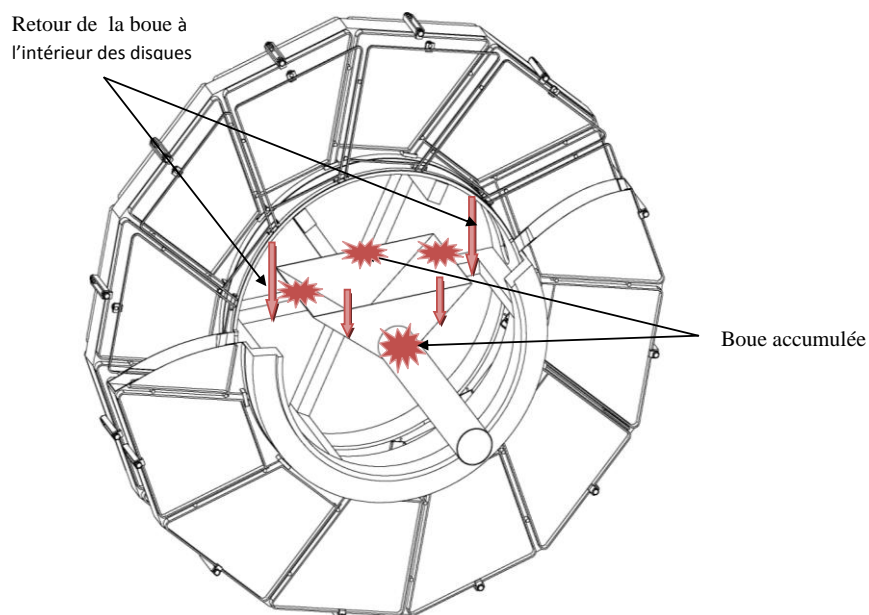
Date	Code de l'essai	Coag.	Polym.	Chs.	Durée de microtamisage	MES AFF	MES TAM	MES RET	F _{AFF} + F _{Coag.} + F _{Polym.}	F _{TAM}	F _{RET}	Bilan de masse	Accumulation	
Unités		mg Fe/L	mg/L	m/h	h	mg/L			g/essai			%	%	x 1000 g/essai
23-08-2012	(0_4_27)	0	4	5	18	105	11	15000	5200	5000	37000	81	19	10.0
05-09-2012	(0_0_26)	0	0	5	14	91	60	6300	32900	21700	9000	93	7	2.3
06-09-2012	(0_0_24)	0	0	4	10	146	92	5900	35100	21900	11500	95	5	1.8
26-09-2012	(0_3_23)	0	3	4	12	105	24	9500	29800	6600	19000	86	14	4.0
13-09-2012	(0_0_26)	0	0	5	2	142	96	9200	6600	4500	1800	95	5	0.3
18-09-2012	(0_2_25)	0	2	4	2	113	27	18200	4300	4100	3100	94	6	0.3
25-09-2012	(0_0_37)	0	0	7	1	96	74	6600	3600	2700	660	96	4	0.1
25-09-2012	(0_2_37)	0	2	7	0.5	104	26	12500	1900	1300	470	93	7	0.1
27-09-2012	(0_0_21)	0	0	4	1	114	72	6400	2500	1600	705	91	9	0.2
26-09-2012	(0_3_23)	0	3	4	1	110	25	13000	1100	260	740	86	14	0.2

4.4.1.2 Mesure de la masse de boue accumulée à l'extérieur de la goulotte

Durant les essais effectués sur une longue période (8 à 18h) afin de récupérer des échantillons composés, et après plusieurs cycles de lavages une accumulation de boue a été observée à l'intérieur et à l'extérieur de la goulotte (Figures 4-40). Ce phénomène a été attribué à la chute d'une fraction des boues à l'extérieur de la goulotte (Figure 4-41).



Figure 4-40 : Photo de l'accumulation de boue à l'extérieur des disques



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Figure 4-41 : Chute des boues à l'extérieur de la goulotte pendant le cycle de lavage

Le volume de boue accumulée sur la conduite d'évacuation du rétentat a été mesuré à l'aide d'un bac (Figure 4-42) et ensuite analysé. La masse de boue accumulée a représenté 1 % de la masse totale accumulée des MES.

Fuite de rétentat



Figure 4-42 : Mesure de la fuite de rétentat pendant le cycle de lavage

La mesure de l'autre fraction du rétentat qui est retournée à l'intérieur des disques n'a pas été facile, vu le manque d'espace à l'intérieur du filtre et la difficulté à faire des manipulations pendant que les disques ont été en mouvement. Néanmoins, une seule tentative a été menée afin de mesurer la fuite du rétentat pendant un cycle de lavage de 60 secondes. La procédure a été de vider l'entrée du filtre à disques de son affluent afin d'installer un bac à l'intérieur du filtre à disques. Ce bac a été accroché en dessous de la goulotte à l'aide d'une corde et maintenu en suspension (il est resté presque immobile et n'a pas suivi le mouvement de rotation des disques pendant le lavage). L'essai visé par cette procédure a été celui du 26-09-2012, code (0_3_23) avec le MT 80 μm . Le résultat de la mesure a donné un volume de rétentat (fuite) de 1.6 L/lavage. L'hypothèse suivante a été posée : à chaque lavage le même volume de rétentat (1.6 L/lavage) a été récupéré, cela a augmenté le bilan de masse des MES de 10 % pour fermer à 96 % au lieu de 86 %. Ce phénomène de retour de boues (fuite de rétentat) a contribué à l'augmentation du colmatage des MT suite à l'accumulation des boues à l'intérieur des disques.

4.5 Production de boues et capacité hydraulique du filtre à disque

La production de boues a dépendu du nombre de lavages effectués durant les essais de microtamisage qui ont été menés sur des périodes différentes (de 1 à 18 h). Le lavage des microtamis s'est effectué automatiquement à l'aide d'un système de lavage à buses (sous pression) en utilisant l'eau du tamisat (voir Figure 4-38). La durée de lavage a été constante (60 secondes) avec une pression d'eau à la sortie des buses de 10 bar pour le MT 80 μm et de 11 bar pour le MT 40 μm . la différence de pression observée entre les deux MT a été attribuée à la tailles des MES du tamisat (eau de lavage), donc plus les particules ont été fines plus il y a eu de la pression à la sortie des buses. Néanmoins durant les essais effectués avec le MT 80 μm , une bande de boues a apparu sur le deuxième disque du filtre (Figure4-39b), ce phénomène a été expliqué par la forte pression exercée sur le MT et qui a fait traverser les boues de l'autre coté du MT. Les paramètres mesurés durant les essais pilotes avec les MT 40 et 80 μm sont présentés au Tableau 4-6. La fréquence de lavage ou la durée du microtamisage statique est liée à la Chs et au degré de colmatage des MT. Les pourcentages de lavage pour le MT 40 et 80 μm ont variés respectivement de 10 à 32 % et de 18 à 36 %. Ces pourcentages ont démontré que le filtre à disques n'a pas atteint sa capacité hydraulique maximale (c'est-à-dire que le microtamisage s'est effectué sans débordement de l'affluent).

Tableau 4-6 : Paramètre d'opération du filtre à disques

MT	Date	Code de l'essai	Chs		Durée de microtamisage	Nombre de lavages	V _{RET} /Lavage	V _{RET} /essai	V _{RET} /V _{LAV}	Fréquence de lavage	% de lavage	% V _{LAV} /V _{AFF}
			Max.	Min.								
µm			m/h	m/h	min		L	L	%	min	%	m ³ /m ³
40	23-10-2012	(0_0_15)	3	2	60	19	6	118	13	2.2	32	6
	23-10-2012	(0_3_14)	3	2	42	4	11	43	22	9.5	10	2
	23-10-2012	(0_3_25)	5	4	840	253	13	3300	27	2.3	30	4
	31-10-2012	(0_3_29)	5	4	708	211	14	3000	29	2.4	30	3
	02-11-2012	(0_4_32)	6	5	720	200	15	3000	31	2.6	28	3
	05-11-2012	(0_7_18)	3	2	990	176	15	2600	30	4.6	18	3
80	23-08-2012	(0_4_27)	5	4	1050	186	13	2400	26	4.6	18	2
	13-09-2012	(0_0_26)	5	4	108	39	6	230	12	1.8	36	4
	18-09-2012	(0_2_25)	4	4	90	16	11	170	22	4.6	18	2
	25-09-2012	(0_0_37)	7	6	60	20	7	130	13	2.0	33	3
	25-09-2012	(0_2_37)	7	6	30	9	12	108	24	2.3	30	2
	25-09-2012	(5_2_37)	7	5	60	18	13	230	26	2.3	30	2
	26-09-2012	(0_3_23)	4	3	720	174	12	2000	23	3.1	24	3

CHAPITRE 5 DISCUSSION

5.1 Microtamisage sans ajout de produits chimiques (MT 40 et 80 μm)

L'effet de l'ouverture des mailles du MT 40 et 80 μm sur les MES de l'effluent de MBBR observé durant les essais pilotes et rapporté par la littérature (seulement avec le MT 40 μm) est présenté à la Figure 5-1.

Le microtamisage de l'effluent MBBR avec le MT 40 μm a permis d'obtenir des abattements de MES supérieurs à 50 % pendant les essais pilotes. Des résultats d'abattement de MES (50 %) ont aussi été rapportés par l'étude d'Odegaard et al. (2010) suite aux essais menés à la STEP de Nordre Follo en Norvège. Néanmoins la tendance de l'augmentation des MES au tamisat lorsque les MES à l'affluent augmentent n'a pas été observée durant les essais pilotes en raison du peu de données obtenues. Les abattements de MES obtenus durant les essais pilotes réalisés avec le MT 80 μm ont été inférieurs à 50 %. En raison de l'absence de données dans la littérature sur l'effet de l'ouverture des maille du MT 80 μm sur l'abattement des MES de l'effluent de MBBR, les résultats des essais pilotes ont été comparés avec ceux de l'étude de Odegaard et al. (2010) et la tendance de l'augmentation des MES au tamisat lorsque les MES de l'affluent augmentent, observée lors des essais pilotes avec le MT 80 μm a été similaire à celle obtenue par Odegaard et al. (2010) (Figure 5-1).

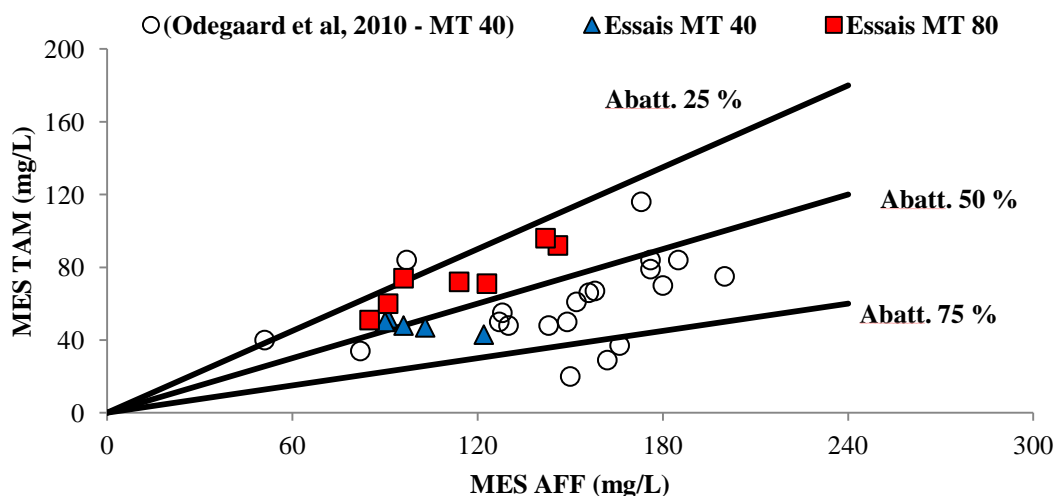


Figure 5-1 : Effet de l'ouverture des mailles du MT 40 et 80 μm sur les MES (comparaison avec la littérature)

Durant les essais pilotes les pourcentages d'abattement des MES obtenus avec le MT 40 μm ont été supérieurs à 50 % mais la concentration des MES au tamisat est demeurée élevée ($> 40 \text{ mg/L}$) pour une concentration moyenne de MES à l'affluent de 100 mg/L . les concentrations supérieures à 40 mg MES/L au tamisat ont aussi été rapportées par l'étude de Odegaard et al. (2010).

L'abattement de la TDCO obtenu durant les essais pilotes avec le MT 40 μm a été de 28% légèrement supérieur à celle rapporté par Grau et al. (1994) qui a été de 22 % (l'effluent microtamisé a été celui d'un traitement secondaire conventionnel).

5.2 Microtamisage avec ajout de produits chimiques (MT 40 et 80 μm)

Le microtamisage de l'affluent de MBBR avec les MT 40 et 80 μm , sans ajout de produits chimiques n'a pas permis d'atteindre la cible moyenne de 15 mg MES/L , ce qui a amené à ajouter du coagulant et du polymère afin d'essayer d'atteindre cette cible.

5.2.1 Ajout de polymère

L'effet de l'ajout de polymère sur l'abattement des MES pendant le microtamisage de l'effluent de MBBR avec les MT 40 et 80 μm observé durant les essais pilotes et celui rapporté par la littérature est présenté à la Figure 5-2.

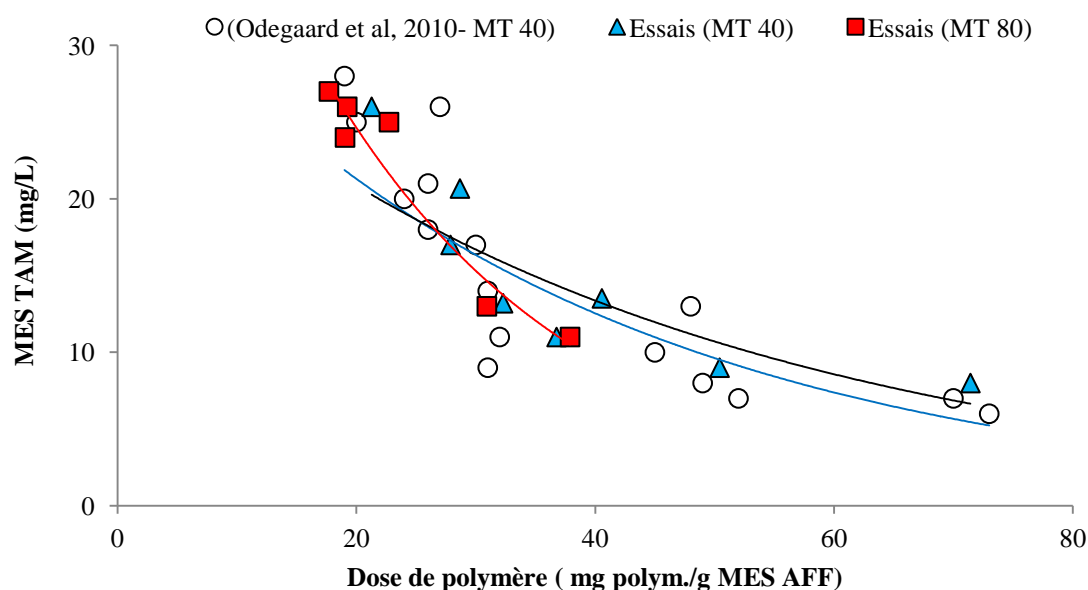


Figure 5-2 : Effet la dose de polymère sur les MES pour les MT 40 et 80 μm (comparaison avec la littérature)

La floculation de l'affluent avec du polymère cationique à haut poids moléculaire suivi du microtamisage avec le MT 40 μm a considérablement réduit les MES au tamisat. En effet pour des ratios compris entre 30 et 70 (mg polym./g MES AFF) des concentrations inférieures à 15 mg MES /L au tamisat ont été observées. Les mêmes résultats ont été confirmés par l'étude réalisée par Odegaard et al. (2010) sur le microtamisage avec le MT 40 μm , de l'effluent de MBBR des STEP de Nordre Follo et de Gardermoen en Norvège. En raison de l'absence de données dans la littérature sur l'effet de l'ajout de polymère sur les MES pendant le microtamisage de l'effluent de MBBR avec le MT 80 μm , les résultats obtenus durant les essais pilotes ont été comparés avec ceux de l'étude de Odegaard et al. (2010). La tendance des courbes a été similaire, c'est-à-dire les MES au tamisat ont diminué lorsque le ratio (polym./MES AFF) a augmenté. Des concentrations inférieures à 15 mg MES /L au tamisat ont été observées pour des ratios compris entre 30 et 40 (mg polym./g MES AFF) (Figure 5-2). Néanmoins, au-delà de la valeur de 60 (mg polym./g MES AFF) la concentration des MES au tamisat a semblé se stabiliser à une valeur constante.

L'ajout de polymère pendant le microtamisage de l'affluent de MBBR avec les MT 40 et 80 μm a permis d'augmenter les abattements de la $\text{DBO}_5\text{-C}$, la TDCO et le TP qui ont été respectivement de 80 %, 60 % et 43 % avec les concentrations respectives au tamisat inférieures à 10 mg/L, 80 mg/L et 2 mg P/L. par contre l'ajout de polymère n'a pas eu d'effet sur l'enlèvement de la SDCO et les o-PO_4 .

5.2.2 Ajout de coagulant et de polymère

La coagulation avec du FeCl_3 et la floculation avec le polymère cationique, a légèrement amélioré l'efficacité du microtamisage de l'effluent de MBBR mais n'a pas eu l'effet attendu sur le TP et les MES. Odegaard et al. (2010) ont rapporté que le microtamisage de l'effluent de MBBR coagulé et floculé avec les doses de 7 à 9 mg Al/L et de 3 à 4 mg polym./L (cationique), a permis de réduire le TP à des valeurs inférieures à 0.3 mg P/L. Durant les essais pilotes avec les MT 40 et 80 μm , la concentration de TP minimale observée au tamisat a été de 2 mg P/L avec le dosage de 7 mg polym./L. L'ajout de coagulant (4 à 5 mg Fe/L) avec le polymère (2 à 3 mg polym./L) a permis de réduire uniquement les o-PO_4 au tamisat (< 1 mg P/L) puisque pour ces mêmes doses une augmentation de XP et des MES a été observée au tamisat (par rapport à celles obtenues sans ajout de coagulant). Les hypothèses suivantes ont été émises afin d'expliquer ce phénomène :

1. rupture du gâteau (formé à la surface du MT) qui a entraîné le passage des particules de

diamètres inférieurs à l'ouverture des mailles du MT utilisé;

2. mauvais contact entre le coagulant et l'affluent dû au mélange incomplet. La vitesse de mélange pendant la coagulation (130 rpm) a été plus faible que celle qui a été utilisée durant les essais de laboratoire (230 rpm) où des concentrations de TP au tamisat (MT 80 μm) inférieures à 1 mg P/L ont été observées pour le dosage de 4 mg Fe/L et 2 mg polym./L
3. passage de floccs de la cuve de floculation vers la cuve de coagulation après l'ajout de polymère. Ces floccs ont pu empêcher le bon contact entre le coagulant et l'affluent;
4. incompatibilité potentielle entre le polymère cationique et le coagulant (FeCl_3). D'après Veolia Water (2009) des abattements de turbidité du tamisat (94 – 95%) ont été obtenus suite au microtamisage (MT 10 μm) de l'effluent de MBBR coagulé (FeCl_3) et floculé (polymère anionique – FLOPAM AN 934 SH).
5. diminution de la température qui peut favoriser le bris de floccs (Desjardins, 1997);
6. faible alcalinité de l'effluent de MBBR et
7. temps de contact qui a été relativement élevé (4 et 6 minutes) par rapport à ce qui est recommandé dans la littérature (2 minutes) (Prévost, 2010).

Il est important de noter que le point d'injection du coagulant a été déplacé de l'intérieur de la cuve pour être installer sur la conduite principale de l'affluent (à 3 m de la cuve de coagulation), mais aucun changement n'a été observé sur l'abattement des MES.

La coagulation floculation avec des doses de 1 mg Fe/L et 4 à 7 mg polym./ a légèrement amélioré l'abattement des MES et la $\text{DBO}_5\text{-C}$.

Le fractionnement de la matière organique réalisé sur l'effluent du MBBR a été comparé avec celui des eaux brutes proposé par défaut par le logiciel BioWin. Un écart important concernant la fraction de la matière colloïdale est observé, ce qui s'explique par l'enlèvement d'une partie de la matière colloïdale par l'étang aéré n° 1 et le réacteur MBBR (Tableau 5-1).

Tableau 5-1 : Fractionnement de la matière organique de l’affluent pour des eaux usées brutes typiques (c.f. BioWin) et de celles du MBBR

Fractionnement de la TDCO	Équation	EFF - BRUT (Biowin)	EFF - MBBR (ce projet)
f _S	SDCO/TDCO	18	19
f _C	CDCO/TDCO	20	5
f _X	XDCO/TDCO	62	76

5.3 Efficacité du filtre à disques

Le filtre à disques a été utilisé en continu sur une durée qui s’est étalée de 8 à 17 heures. La charge hydraulique superficielle observée à la fin des essais a diminué de 20 % (par rapport au début de l’essai), avec un pourcentage de lavage qui a varié de 10 à 32 % (MT 40 µm) et de 18 à 36 % (MT 80 µm). Ces pourcentages de lavage sont demeurés faibles puisqu’il n’y a pas eu de débordement de l’affluent à cause des débits d’affluents choisis et limités par la puissance de la pompe de succion. La pompe de dosage de polymère a été aussi limitée par le débit maximal de 520 mL/min. Le débit de lavage total a représenté 3 % du débit de l’affluent (Q_{AFF}) par essai, ce qui correspondait à la valeur recommandée par Hydrotech. Le ratio $V_{\text{RET}}/V_{\text{LAV}}$ a été très faible entre 27 et 31 % (Tableau 4-6) puisque d’après Hydrotech (Cimbritz, 2013) le volume d’eau de lavage qui devrait se retrouver au rétentat (récupéré par la goulotte) se rapprocherait de 80 % pour les ouvertures de mailles de microtamis supérieures à 40 µm. Les faibles volumes de rétentat récupérés ont été attribués principalement au volume de rétentat qui n’a pas été récupéré par la goulotte (voir Figure 4-4, pour les points de fuite de rétentat) dû au faible dimensionnement de la goulotte et peut être à la pression élevée d’eau de lavage exercée sur les MT 40 et 80 µm (de 10 et 11 bar), puisque la pression recommandée par Hydrotech (Cimbritz, 2013) est de 8 bar. Ce retour de boues a eu l’effet de :

- réduire la superficie filtrante causé par le colmatage des MT et
- augmenter l’accumulation de boues qui a été observée à l’intérieur des disques du filtre.

5.4 Empreinte carbone

L'ensemble des émissions de gaz à effet de serre (GES) comme le gaz carbonique (CO_2) généré par un produit durant son cycle de vie est appelé empreinte carbone. Cette dernière est due à l'opération (86%) et à la fabrication du procédé (14%) (Veolia Water Solutions & Technologies, 2013). Afin de réduire l'empreinte carbone il est primordial de réduire l'utilisation de produits chimiques et la consommation d'énergie, puisque 76 % de l'empreinte carbone est attribuée à la consommation d'énergie et 10% à l'utilisation de produits chimiques.

Les principaux produits chimiques utilisés ont été :

- coagulant (FeCl_3),
- polymère cationique et
- eau de javel (NaOCl , 0.5%).

L'utilisation du coagulant (FeCl_3) et du polymère cationique a été quotidienne et pendant la période de fonctionnement du filtre à disques tandis que le lavage chimique des MT a été réalisé pendant l'arrêt du filtre à disques et après 12 heures de fonctionnement en continue.

D'après les résultats obtenus dans le cadre de ce projet de recherche, le microtamisage de l'effluent de MBBR floculé avec uniquement du polymère cationique, a permis d'atteindre la cible moyenne de 15 mg MES/L au tamisat, réduisant ainsi l'empreinte carbone par la non utilisation quotidienne de coagulant. L'énergie consommée par le procédé de microtamisage avec le filtre à disques (Hydrotech) a été attribuée principalement à la rotation du tambour et au système de lavage des MT. Dans le contexte de l'utilisation du procédé au Québec, la consommation d'énergie serait faible vue le coût relativement peu élevé de l'électricité.

CONCLUSIONS

L'objectif général de ce projet de recherche consistait à évaluer l'efficacité d'enlèvement des MES par un filtre à disques avec et sans ajout de sel métallique et/ou de polymère pour la clarification d'un effluent de MBBR. Dans ce contexte l'hypothèse suivante a été formulée :

- le microtamisage d'un effluent de MBBR avec ou sans ajout de sel métallique et/ou de polymère permet d'atteindre la cible moyenne de 15 mg MES/L au tamisat.

Les résultats des essais de microtamisage réalisés avec les MT 40 et 80 μm du filtre à disques (Hydrotech) ont permis de constater que la capture des MES a augmenté lorsque l'ouverture des mailles des MT a diminué. L'abattement moyen des MES avec le MT 80 μm a été de 33% tandis qu'avec le MT 40 μm l'abattement des MES a été de 54 % avec des concentrations moyennes respectives des MES au tamisat de 74 mg/L et 48 mg/L.

L'étape de floculation avec l'ajout de polymère cationique a permis d'augmenter l'abattement des MES de l'effluent de MBBR pour les MT 40 et 80 μm . Pour une dose de polymère de 7 mg/L (70 mg polym./g MES AFF) l'abattement des MES avec le MT 40 μm a été supérieur à 90 % (MES TAM < 10 mg/L), tandis qu'avec une dose de polymère comprise entre 3 et 4 mg/L (35 mg polym./g MES AFF) l'abattement des MES a été supérieur à 80 % (MES TAM < 15 mg/L).

L'ajout de coagulant (FeCl_3) et du polymère cationique durant l'étape de coagulation-floculation et microtamisage avec les MT 40 et 80 μm n'a pas amélioré l'abattement des MES.

Dans les conditions opératoires des essais pilotes réalisés dans le cadre de ce projet de recherche, le microtamisage (MT 40 ou 80 μm) de l'effluent MBBR floculé avec du polymère cationique a permis d'obtenir des concentrations de MES au tamisat inférieures à 15 mg/L. De ce fait l'hypothèse que le microtamisage (MT 40 ou 80 μm) d'un effluent de MBBR floculé avec le polymère cationique (sans ajout de coagulant) permet d'atteindre la cible moyenne de 15 mg MES/L, est vérifiée sous certaines conditions

RECOMMANDATIONS

Deux types de recommandations sont formulés, un premier relatif à l'amélioration des essais sur le terrain avec l'unité pilote de microtamisage et un deuxième concernant l'implantation à pleine échelle de ce procédé.

Pour améliorer la qualité des résultats obtenus avec l'unité pilote de microtamisage il est recommandé de :

1. mesurer l'alcalinité de l'effluent durant les essais;
2. utiliser un mélangeur statique pour la coagulation;
3. utiliser deux bassins séparés pour réaliser la coagulation-floculation;
4. réaliser des essais de coagulation-floculation avec :
 - a. de l'alun et un polymère cationique et
 - b. du FeCl_3 et un polymère anionique.
5. utiliser une pompe de dosage de polymère capable de fournir un débit de 1 L/min et
6. déplacer la sonde Solitax pour la lecture des MES à l'affluent dans la conduite de l'effluent de MBBR en amont de la cuve de coagulation;
7. prévoir une cuve de récupération des boues avec un système de vidange et
8. réaliser des essais pilotes avec le MT 160 μm .

Concernant l'implantation du procédé à pleine échelle des améliorations qui pourraient être apportées au filtre à disques, consisteraient à :

1. élargir la goulotte de récupération des boues afin d'augmenter sa capacité de récupération pendant le lavage et
2. effectuer un lavage chimique avec du NaOCl (0.5 %) après 12 heures de fonctionnement continu afin de réduire le taux de colmatage et augmenter la charge hydraulique superficielle.

Finalement, avant de conclure sur la possibilité que le filtre à disques (Hydrotech) puisse remplacer un décanteur secondaire pour la clarification de l'effluent de MBBR, il est recommandé de :

1. tester le filtre à disques en conditions hivernales;
2. prévoir une chaîne de traitement et valorisation des boues chimiques récupérées et
3. réaliser une étude technico-économique afin de préciser le créneau de cette technologie.

RÉFÉRENCES

- Amirtharajah, A., & O'Melia, C. R. 1990. Coagulation processes: Destabilization, mixing, and flocculation. McGraw-Hill, New York.
- Bratby, J. 2006. Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment. 2nd ed. London. IWA Publishing
- Canler, J.-P., & Perret, J.-M. 2012. Les procédés MBBR pour le traitement des eaux usées. Cas du procédé R3F Document technique FNDAE (Vol. 38, pp. 17). Fonds National pour le Développement des Adductions d'Eau (FNDAE).
- Cimbritz, M. 2013. Fraction du volume d'eau de lavage récupéré au rétentat. Courriel du 18 janvier. Compagnie Hydrotech.
- Comeau, Y. 2010. Épuration biologique des eaux usées. Notes du cours CIV8220. 3^e éd. École Polytechnique de Montréal.
- Deltimple, C. 2010. Modélisation 1D du comportement d'un clarificateur à partir du logiciel GPS-X. Mémoire d'ingénieur, École Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg.
- Desjardins, C. 1999. Simulation et étude en laboratoire de la floculation lestée (Actiflo) à l'aide d'une procédure modifiée de jar test (Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal.
- Desjardins, R. 1997. Le Traitement des eaux. 2^e éd. Montréal; Presses internationales Polytechnique.
- DLK Technologies. Recyclage et traitement des eaux résiduelles. Consulté le 04 mars 2013, Tiré de <http://www.dlk.ch/>
- Grau, A., Haeusler, M., & Schmitt, W. (1994). Micro-straining as advanced treatment of wastewater applied to the main wastewater treatment plant in Wiesbaden. *Water Science and Technology*, 29(12), 237-245.
- Liao, Z., Rasmussen, V., & Odegaard, H. 2003. A High-Rate Secondary Treatment Based on a Moving Bed Bioreactor and Multimedia Filters for Small Wastewater Treatment Plants. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 38(10), 2349-2358.
- Liu, Y., & Tay, J. H. 2001. Strategy for minimization of excess sludge production from the activated sludge process. *Biotechnology Advances*, 19(2), 97-107.
- Ljunggren, M. 2006. Micro screening in wastewater treatment-An overview. *Vatten*, 62(2), 171.
- Mamais, D., Jenkins, D. & Pitt, P. (1993) A rapid physical-chemical method for the determination of readily biodegradable soluble COD in municipal wastewater. *Water Research* 27(1), 195-197.
- Mattsson, A., Ljunggren, M., Fredriksson, O., & Persson, E. 2009. Particle size analysis used for design of large scale tertiary treatment microscreen. In proc 2nd IWA specialized conference in nutrient management in wastewater treatment processes.

- Melin, E., Helness, H., & Ødegaard, H. 2002. Dissolved air flotation of bioreactor effluent using low dosages of polymer and iron. *Chemical Water and Wastewater Treatment*, VII, 262-271.
- Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse* (4th ed.) New York, McGraw-Hill.
- Odegaard, H., Rusten, B., & Westrum, T. (1994). A new moving bed biofilm reactor-applications and results. *Water Science and Technology*, 29(10-11), 157-165.
- Odegaard, H., Karlsson, I. 1994. Chemical wastewater - Value for money. In Klute and Hahn (eds): *Chemical Water and Wastewater Treatment III*, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, pp.191-209
- Odegaard, H. 2000. Advanced compact wastewater treatment based on coagulation and moving bed biofilm processes. *Water Science & Technology*, 42(12), 33-48.
- Odegaard, H., Cimbritz, M., Christensson, M., & Dahl, C. P. 2010. Separation of Biomass From Moving Bed Biofilm Reactors (MBBRs). *Proceedings of the Water Environment Federation*, 2010 (7), 212-233.
- Persson, E., Ljunggren, M., Jansen, J. C., Strube, R., & Jönsson, L. 2006. Disc filtration for separation of flocs from a moving bed bio-film reactor. *Water Science and Technology*.
- Prévost, M. 2010. *Traitements physico-chimiques. Notes du cours CIV8210. École Polytechnique de Montréal.*
- Qasim, S.R 1999. *Wastewater Treatment Plants: Planning, Design, and Operation*. Boca Raton, FA: CRC Press LLC.
- Takács, I., Patry, G. G., & Nolasco, D. 1991. A dynamic model of the clarification-thickening process. *Water Research*, 25(10), 1263-1271.
- Veolia Water Solutions & Technologies. 2009. *Actiflo classic, Hydrotech discfilter, and Actiflo turbo pilot study. Rapport interne.*
- Veolia Water Solutions & Technologies. 2012. *Les filtres à disques Hydrotech*. Consulté le 06 juin. Tiré de <http://www.veoliawaterst.com/hydrotech-filters/fr/?bu=vwst.fr>.
- Veolia Water Solutions & Technologies. 2013. *Emissions of discfilters. Note interne reçue de C. Scott le 29 juillet.*

ANNEXE 1 - Mesure de la DCO soluble (SDCO) ou floculée-filtrée (adapté de Mamais et al., 1993)

Méthode au sulfate de zinc

La méthode dite de floculation et filtration (ou floculée-filtrée) permet d'éliminer les fractions colloïdales et particulaires d'un échantillon d'eaux usées afin de ne conserver que les fractions solubles.

Matériel

- Solution de sulfate de zinc (ZnSO_4) à 100 g/L;
- Bécher de 150 mL (échantillon de 100 mL);
- pH-mètre calibré à pH = 7 et pH = 10;
- solution de NaOH 6 M,
- filtres à seringue 0.45 μm ;
- seringue et
- plaque agitatrice et barreau magnétique.

Préparation de la solution ZnSO_4

Le sulfate de zinc est vendu commercialement sous forme heptahydraté ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$) de masse molaire égale à 287.53 g/mol.

Pour 1L :

- dissoudre 178 g de sulfate de zinc heptahydrate dans une fiole jaugée de 1000 mL remplie à demi d'eau Milli-Q.
- compléter au trait de jauge avec de l'eau Milli-Q.

Procédure

- ajouter 1 mL de la solution à 100 g/L de ZnSO_4 pour 100 mL d'échantillon;
- agiter vigoureusement sur la plaque pendant environ 1 minute;
- ajuster le pH à 10,5 – 11 avec le NaOH 6 M;

- laisser décanter pendant 5 minutes;
- prélever le surnageant à l'aide d'une seringue et
- filtrer l'échantillon de surnageant en rejetant les 10 premiers mL.

ANNEXE 2 - Essais de laboratoire - phases 1, 2 et 3

ESSAIS DE LABORATOIRE - PHASE 1

MT 160 µm - Essai No 1

Date : 22-03-2012

Coag.	polym.	MES			MVES			MIES			iVT			Abattement			TDCO			CSDCO			XDCO			Abattement		
		AFF	EFF C,F	TAM	AFF	EFF C,F	TAM	AFF	EFF C,F	TAM	AFF	EFF C,F	TAM	MES	MVES	MIES	AFF	EFF C,F	TAM	AFF	EFF C,F	TAM	AFF	EFF C,F	TAM	TDCO	CSDCO	XDCO
mg Fe/L	mg/L	mg/L												%			mg/L									%		
0	0	194		117	149		87	45		29	77		75	40	41	34	291		211	43		43	248		168	27	0	32
1	1		227	21		175	16		53	5		77	77	91	91	91		362	85		44	45		318	40	77	-2	87
1	2		323	24		256	13		67	10		79	57	93	95	85		470	80		43	44		427	36	83	-2	92
1	3		358	16		280	13		78	4		78	78	95	95	95		469	65		51	39		418	26	86	24	94
1	4		342	16		283	10		72	6		83	61	95	97	91		439	61		36	39		403	22	86	-8	95

MT 20 µm - Essai No 2

Date : 02-04-2012

Coag.	polym.	MES			MVES			MIES			iVT			Abattement			TDCO			Abattement	
		AFF	EFF C,F	TAM	AFF	EFF C,F	TAM	AFF	EFF C,F	TAM	AFF	EFF C,F	TAM	MES	MVES	MIES	AFF	EFF C,F	TAM	TDCO	
mg Fe/L	mg/L	mg/L												%			mg/L			%	
0	0	127		11	110		7	17		4	86		62	91	94	75	228		86	62	
1	1		165	13		136	11		29	2		82	84	92	92	93		275	79	71	
1	2		154	15		122	11		31	4		80	76	90	91	89		261	79	70	
1	3		183	17		154	14		28	3		85	81	91	91	88		305	77	75	
1	4		202	14		162	11		40	3		80	86	93	93	93		300	69	77	

ESSAIS DE LABORATOIRE - PHASE 1

MT 80 µm - Essai No 3

Date : 05-04-2012

Coag.	polym.	MES			MVES			MIES			iVT			Abattement			TDCO			CSDCO			XDCO			Abattement		
		AFF	EFF C,F	TAM	AFF	EFF C,F	TAM	AFF	EFF C,F	TAM	AFF	EFF C,F	TAM	MES	MVES	MIES	AFF	EFF C,F	TAM	AFF	EFF C,F	TAM	AFF	EFF C,F	TAM	TDCO	CSDCO	XDCO
mg Fe/L	mg/L	mg/L												%			mg/L									%		
0	0	112		34	88		23	24		11	79		67	69	74	52	241		156	85		83	155		73	35	3	53
1	1		186	19		150	14		36	4		81	77	90	90	88		312	130		90	77		222	54	58	14	76
1	2		198	18		162	12		37	6		82	67	91	93	84		327	87		65	63		262	24	73	3	91
1	3		208	18		169	13		39	5		81	72	91	92	87		332	96		65	64		267	24	71	2	91

MT 40 µm - Essai No 4

Date : 02-05-2012

Coag.	polym.	MES			MVES			MIES			iVT			Abattement			TDCO			CSDCO			XDCO			Abattement		
		AFF	EFF C,F	TAM	AFF	EFF C,F	TAM	AFF	EFF C,F	TAM	AFF	EFF C,F	TAM	MES	MVES	MIES	AFF	EFF C,F	TAM	AFF	EFF C,F	TAM	AFF	EFF C,F	TAM	TDCO	CSDCO	XDCO
mg Fe/L	mg/L	mg/L												%			mg/L									%		
0	0	130		21	107		16	23		2	82		76	84	82	91	252		117	85		61	167		56	53	28	66
1	1		165	18		133	11		32	7		81	62	89	91	78		289	95		65	55		224	40	67	15	82
1	2		200	19		165	14		35	5		83	74	90	91	86		342	92		75	57		268	35	73	23	87
1	3		245	19		201	15		44	4		82	79	92	93	91		359	80		49	41		310	39	78	16	87
1	4		240	19		200	15		40	4		83	78	92	93	90		376	83		48	54		328	29	78	-13	91

ESSAIS DE LABORATOIRE - PHASE 2

MT 160 µm - Essai No 1

Date : 04-06-2012

Coag.	polym.	MES		MVES		MIES		iVT		Abattement			TDCO		CSDCO		XDCO		Abattement		
		AFF	TAM	AFF	TAM	AFF	TAM	AFF	TAM	MES	MVES	MIES	AFF	TAM	AFF	TAM	AFF	TAM	TDCO	CSDCO	XDCO
mg Fe/L	mg/L	mg/L								%			mg/L						%		
0	3	235	18	180	16	56	3	77	79	92	91	95	378	84	51	44	328	40	78	13	88
2	3	241	20	185	16	55	4	76	84	92	92	93	402	88	56	43	345	45	78	24	87
3	3	245	34	185	26	60	8	76	76	86	86	87	379	102	48	45	331	57	73	6	83
4	3	237	30	181	24	55	7	77	78	87	87	88	369	105	49	45	320	60	71	8	81
5	3	250	34	189	25	61	9	76	74	86	87	85	385	98	48	45	337	53	75	6	84

MT 40 µm - Essai No2

Date : 05-06-2012

Coag.	polym.	MES		MVES		MIES		iVT		Abattement			TDCO		CSDCO		XDCO		Abattement			TP		o-PO4		XP		Abattement		
		AFF	TAM	AFF	TAM	AFF	TAM	AFF	TAM	MES	MVES	MIES	AFF	TAM	AFF	TAM	AFF	TAM	TDCO	CSDCO	XDCO	AFF	TAM	AFF	TAM	AFF	TAM	TP	o-PO4	XP
mg Fe/L	mg/L	mg/L								%			mg/L				%			mg/L						%				
0	3	222	10	158	6	64	4	71	63	96	96	94	362	90	44	42	318	48	75	5	85	5.8	2.5	1.9	1.6	3.9	0.9	57	15	78
2	3	231	13	171	8	60	5	74	59	94	96	91	354	80	43	38	310	42	77	12	86	5.8	2.1	1.6	1.1	4.2	1.0	64	31	76
3	3	222	15	165	9	57	7	74	55	93	95	88	381	78	40	36	341	42	80	11	88	5.9	1.8	1.9	0.9	4.0	1.0	69	55	76
4	3	229	15	168	8	61	7	73	53	94	95	89	382	80	42	40	340	40	79	4	88	5.8	1.6	1.6	0.7	4.2	0.8	73	54	81

MT 80 µm - Essai No3

Date: 08-06-2012

Coag.	polym.	MES		MVES		MIES		iVT		Abattement			TDCO		CSDCO		XDCO		Abattement			TP		o-PO4		XP		Abattement		
		AFF	TAM	AFF	TAM	AFF	TAM	AFF	TAM	MES	MVES	MIES	AFF	TAM	AFF	TAM	AFF	TAM	TDCO	CSDCO	XDCO	AFF	TAM	AFF	TAM	AFF	TAM	TP	o-PO4	XP
mg Fe/L	mg/L	mg/L								%			mg/L						%			mg/L						%		
0	2	188	13	143	8	45	4	76	65	93	94	90	252	43	28	27	225	16	83	2	93	4.4	1.7	1.4	1.3	3.0	0.4	61	5	87
2	2	187	13	131	8	43	5	70	62	93	94	89	246	36	28	26	217	10	85	7	96	4.4	1.3	1.4	0.8	3.1	0.5	70	41	83
3	2	192	14	147	8	46	6	76	55	93	95	86	259	33	30	27	230	6	87	7	98	4.8	1.1	1.4	0.7	3.4	0.4	77	48	89
4	2	189	12	146	10	43	2	77	81	94	93	95	261	44	24	22	237	22	83	8	91	4.4	0.9	1.4	0.5	3.0	0.4	81	66	87
5	2	188	12	145	7	43	5	77	61	94	95	89	306	34	25	21	281	13	89	16	95	4.6	0.6	1.5	0.3	3.1	0.3	86	80	89

ESSAIS DE LABORATOIRE - PHASE 3

MT 40 µm - Essai No1

Date : 16-07-2012

Coag.	polym.	MES			MVES			MIES			iVT			Abattement			BILAN DE MASSE
		AFF	TAM	RET	AFF	TAM	RET	AFF	TAM	RET	AFF	TAM	RET	MES	MVES	MIES	
mg Fe/l	mg/L	mg/L									%						
0	0	112	18	832	82	16	636	31	3	196	73	89	76	84	80	90	85
0	4	105	13	629	74	11	528	31	2	101	70	85	84	88	85	94	92
2	4	104	16	1042	73	12	771	31	4	272	70	75	74	85	84	87	90
4	4	104	14	1065	73	10	762	30	3	303	70	71	72	87	86	90	101

MT 80 µm - Essai No2

Date : 31-07-2012

Coag.	polym.	MES			MVES			MIES			iVT			Abattement			BILAN DE MASSE
		AFF	TAM	RET	AFF	TAM	RET	AFF	TAM	RET	AFF	TAM	RET	MES	MVES	MIES	
mg Fe/l	mg/L	mg/L												%			
0	0	125	20	1013	94	17	774	31	3	239	75	85	76	84	82	90	94
0	0	128	17	1107	94	14	854	34	3	252	73	82	77	87	85	91	99
0	4	125	12	446	93	11	349	31	1	97	74	92	78	90	88	97	96
0	4	129	14	314	98	13	238	32	1	77	76	93	76	89	87	97	97
2	4	125	15		94	11		31	3		75	73		88	88	90	96
2	4	128	16	1306	94	12	980	34	4	320	73	75	75	88	87	88	92

ESSAIS DE LABORATOIRE - PHASE 3

MT 160 µm - Essai No 3

Date : 26-07-2012

Coag.	polym.	MES			MVES			MIES			iVT			Abattement			BILAN DE MASSE
		AFF	TAM	RET	AFF	TAM	RET	AFF	TAM	RET	AFF	TAM	RET	MES	MVES	MIES	
mg Fe/L	mg/L	mg/L												%			
0	0	177	150	135	136	119	114	40	31	21	77	79	84	15	13	23	99
0	0	175	154	134	129	118	107	46	36	27	74	77	80	12	9	22	96
0	0	115	104	262	85	79	243	30	26	31	74	76	93	10	7	13	101
0	0	115	102	141	85	77	123	25	25	22	74	75	87	11	9	0	96
0	0	116	106	91	91	83	76	25	22	15	78	78	84	9	9	12	100
0	4	115	17	1077	85	12	830	30	5	247	74	71	77	85	86	83	103
2	4	115	20	368	85	15	267	31	5	101	74	75	73	83	82	84	97
4	4	116	19	766	91	15	563	25	4	203	78	79	73	84	84	84	103

ANNEXE 3 - Essais pilotes

A) Microtamisage avec MT 40 et 80 µm sans ajout de produits chimiques

MT 40 µm

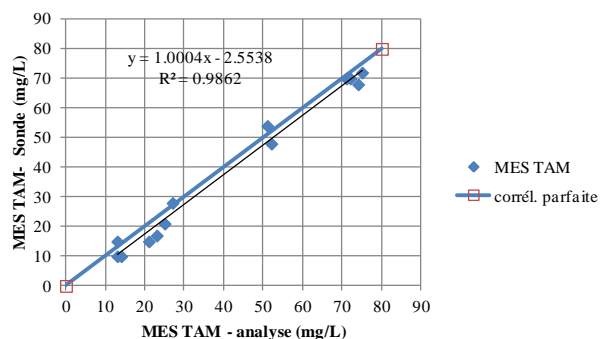
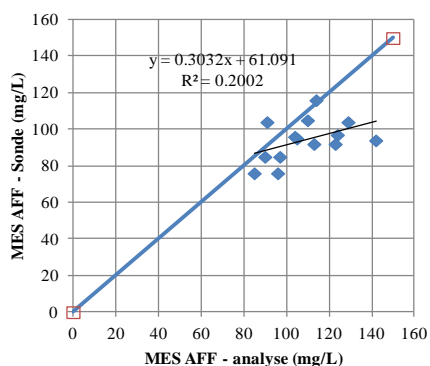
Date	Code de l'essai	Chs.	MES AFF	MES TAM	Abattement
		Unités			
		m/h	mg/L		%
23-10-2012	(0_0_15)	3	91	52	43
24-10-2012	(0_0_24)	4	96	48	50
30-10-2012	(0_0_29)	5	90	50	44
02-11-2012	(0_0_29)	6	103	47	54
05-11-2012	(0_0_20)	3	122	43	65

MT 80 µm

Date	Code de l'essai	Chs.	MES AFF	MES TAM	Abattement	iVT AFF	iVT TAM	iVT RET	Bilan de masse
		Unités							
		m/h	mg/L		%	mg MVES/mg MES			
23-08-2012	(0_0_26)	5	85	51	40	0.74	0.76	0.8	80
29-08-2012	(0_0_27)	5	123	71	42	0.7	0.72		
05-09-2012	(0_0_26)	5	91	60	34	0.78	0.74	0.74	93
06-09-2012	(0_0_24)	4	146	92	37	0.74	0.78	0.84	95
13-09-2012	(0_0_26)	5	142	96	32	0.73	0.75	0.76	95
25-09-2012	(0_0_37)	7	96	74	23	0.76	0.78	0.84	96
27-09-2012	(0_0_21)	4	114	72	37	0.76	0.77	0.84	91

A-1) Calibration des sondes Solitax

MES AFF		Écart- type	MES TAM		Écart-type
mg/L					
SONDE	ANALYSE		SONDE	ANALYSE	
76	85	6	54	51	2
85	97	8	15	13	1
92	123	22	70	71	1
94	142	34	72	75	2
92	113	15	28	27	1
97	124	19	68	74	4
76	96	14	70	72	1
116	114	1	21	25	3
105	110	4	48	52	3
104	91	9	10	13	2
85	90	4	17	23	4
104	129	18	15	21	4
95	105	7	10	14	3
96	104	6			

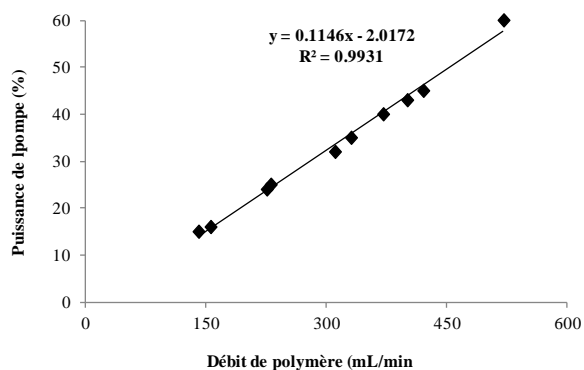


Remarque : Une bonne corrélation a été observée pour la lecture de la sonde de MES au tamisat, par contre un écart important a été observé pour la lecture de la sonde de MES à l'affluent. Cet écart a été attribué au positionnement de la sonde (à l'intérieur du réacteur de MBBR) loin de quelques mètres du point d'échantillonnage et de pompage de l'affluent. Donc les données de MES à l'affluent affichées par la sonde Solitax sont à prendre avec prudence.

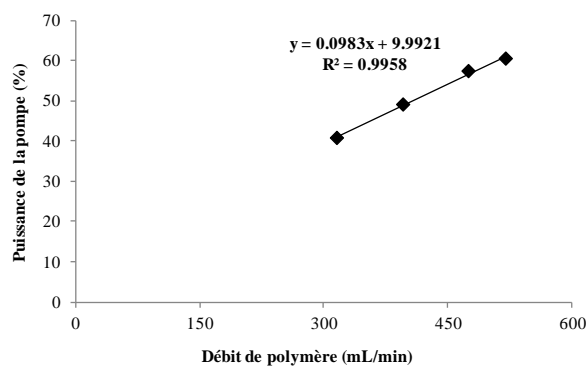
B) Microtamisage avec ajout de polymère et de coagulant MT 40 µm

B-1) Calibration de la pompe de polymère

Afin de déterminer les volumes de polymère à injecter pour chaque concentration désirée, deux courbes de calibration sont réalisées selon la concentration de la solution mère préparée (3 ou 4 g polym./L). Les deux courbes de calibration sont présentées aux Figures a et b.



(a) Solution mère = 3 g polym./L



(b) Solution mère = 4 g polym./L

Solution mère de polymère			
3 g polym./L		4 g polym./L	
Q polym.	Puissance de la pompe	Q polym.	Puissance de la pompe
mL/min	%	mL/min	%
140	15	140	24
155	16	155	25
225	24	225	32
230	25	230	33
310	32	316	41
330	35	396	49
370	40	475	57
400	43	520	60
420	45		
520	60		

B-2) Résultats des analyses de MES (ajout de polymère seulement) – MT 40 µm

Date	Code de l'essai	Chs.	Polym.	MES AFF	MES TAM	Abatt. MES	Rapport	iVT AFF	iVT TAM	iVT RET	Bilan de masse
		Unités									
		m/h	(mg/L)	(mg/L)		%	(mg polym/g MES AFF)	mg MVES/mg MES			%
23-10-2012	(0_0_15)	3	0	91	52	42	0	85	72	80	86
23-10-2012	(0_2_14)	3	2	94	26	72	21				
23-10-2012	(0_3_14)	3	3	90	13	85	33	80	80	73	93
24-10-2012	(0_0_24)	4	0	96	48	50	0				
24-10-2012	(0_3_25)	4	3	104	17	84	29				79
30-10-2012	(0_0_30)	5	0	90	50	44	0				
31-10-2012	(0_3_29)	5	3	105	21	80	29	78	81	80	84
02-11-2012	(0_4_32)	6	4	104	14	87	39	83	80	81	79
04-11-2012	(0_5_19)	3	5	136	11	92	37				
04-11-2012	(0_6_19)	3	6	119	9	92	50				
05-11-2012	(0_7_18)	3	7	98	8	92	71	82	81	83	84

B-3) Résultats des analyses de MES (ajout de coagulant et de polymère) MT 40 µm

Date	Code de l'essai	Chs.	Coag.	Polym.	MES AFF	MES TAM	Abatt.MES
		Unités					
		m/h	mg Fe/L	(mg/L)	(mg/L)		%
23-10-2012	(0_0_15)	3	0	0	91	52	43
24-10-2012	(0_5_14)	3	0	5	97	16	84
24-10-2012	(1_5_14)	3	1	5	85	11	87
24-10-2012	(1_3_25)	4	1	3	94	12	87
24-10-2012	(2_3_25)	4	2	3	90	14	84
30-10-2012	(0_0_30)	5	0	0	90	50	44
31-10-2012	(0_3_29)	5	0	3	105	21	80
04-11-2012	(0_0_20)	6	0	0	122	43	65
04-11-2012	(0_4_19)	3	0	4	129	14	89
04-11-2012	(0.5_4_19)	3	0.5	4	120	8	93
04-11-2012	(1_4_19)	3	1	4	151	10	93
05-11-2012	(0_7_18)	3	0	7	98	8	92
05-11-2012	(1_7_18)	3	1	7	130	10	92

B-4) Résultats de Analyses de TDCO, SDCO, CDCO et XDCO – MT 40 µm

Date	Code de l'essai	Chs.	Polym.	TDCO		SDCO		CDCO		XDCO		Abattement				Bilan de masse
				AFF	TAM	AFF	TAM	AFF	TAM	AFF	TAM	TDCO	SDCO	CDCO	XDCO	
Unités		m/h	(mg/L)	mg/L								%				
23-10-2012	(0_0_15)	3	0	174	126	32	32	14	6	129	88	28	1	57	31	90
23-10-2012	(0_3_14)	3	3	168	76	34	30	8	5	127	41	55	12	30	68	95
24-10-2012	(0_3_25)	4	3	210	83	34	31	9	2	167	50	61	7	79	70	74
31-10-2012	(0_3_29)	5	3	181	97	40	40	6	6	135	51	46	1	0	62	88
02-11-2012	(0_4_32)	5	4	190	74	37	36	8	6	145	32	61	4	24	78	82
05-11-2012	(0_7_18)	3	7	182	66	31	30	5	5	145	31	63	3	6	79	87

B-4.1) Calcul des facteurs fS, fC et fX

Date	Code de l'essai	Polym.	fS		fC		fX	
			AFF	TAM	AFF	TAM	AFF	TAM
Unités		(mg/L)	%					
23-10-2012	(0_0_15)	0	18	25	8	5	74	70
23-10-2012	(0_3_14)	3	20	39	5	7	75	54
24-10-2012	(0_3_25)	3	16	38	4	2	80	61
31-10-2012	(0_3_29)	3	22	41	3	6	75	53
02-11-2012	(0_4_32)	4	19	48	4	9	76	43
05-11-2012	(0_7_18)	7	17	46	3	8	80	47
Moyenne			19	40	5	6	77	55

B-5) Résultats des analyses de DBO₅ (ajout de coagulant et de polymère) - MT 40 µm

Date	Code de l'essai	Chs.	Coag.	Polym.	DBO ₅ -C AFF	DBO ₅ -C TAM	Abatt. DBO ₅ -C	MES AFF	MES TAM	pH	T
		Unités									
		m/h	mg Fe/L	(mg/L)	mg/L		%	mg/L			C°
02-11-2012	(0_0_14)	3	0	0	41	26	37	136	53	6.95	16.6
02-11-2012	(0_0_32)	6	0	0	41	28	32	63	49	6.92	16.7
31-10-2012	(0_3_29)	5	0	3	38	10	74	105	21	6.98	16.8
02-11-2012	(0_5_32)	6	0	5	46	9	80	84	13	6.91	16.7
02-11-2012	(0.5_4_32)	6	0.5	4	41	9	78	67	7	6.91	16.7
02-11-2012	(1_4_14)	3	1	4	41	9	78	100	11	6.93	16.7

C) Résultats des analyses de TP, o-PO₄ et XP (avec polymère)

Date	Code de l'essai	Chs.	Coag.	Polym.	TP		o-PO4		XP		Abattement		
		Unités											
		m/h	mg Fe/L	(mg/L)	(mg /L)						%		
					AFF	TAM	AFF	TAM	AFF	TAM	TP	o-PO4	XP
23-10-2012	(0_0_15)	3	0	0	2.88	2.29	1.28	1.23	1.60	1.06	20	4	34
31-10-2012	(0_3_29)	5	0	3	3.32	2.24	1.92	1.91	1.40	0.33	33	1	76
02-11-2012	(0_4_32)	6	0	4	3.52	2.17	1.91	1.83	1.61	0.34	38	4	79
05-11-2012	(0_7_18)	3	0	7	3.47	1.99	1.73	1.73	1.74	0.26	43	0	85

D) Microtamisage avec ajout de polymère et de coagulant MT 80 µm

D-1) Résultats des analyses de MES (ajout de polymère seulement)

Date	Code de l'essai	Chs.	Polym.	MES AFF	MES TAM	Abatt.MES	Rapport	iVT AFF	iVT TAM	iVT RET	Bilan de masse
		Unités									
		m/h	(mg/L)	(mg/L)		%	(mg polym./g MES AFF)	AFF	TAM	RET	%
23-08-2012	(0_4_27)	5	4	95	11	88	38	77	76		84
24-08-2012	(0_3_39)	7	3	97	13	87	31	71	68	79	
18-09-2012	(0_2_25)	4	2	113	27	76	18	74	88	71	94
26-09-2012	(0_3_23)	4	3	105	24	77	29	74	85	76	86

D-2) Résultats des analyses de MES (ajout de coagulant et de polymère) - MT 80 µm

Date	Code de l'essai	Chs.	Coag.	Polym.	MES AFF	MES TAM	Abatt. MES	pH	T
		Unités							
		m/h	mg Fe/L	(mg/L)	(mg/L)		%		C°
23-08-2012	(0_4_27)	5	0	4	95	11	88		22.4
30-08-2012	(4_3_27)	5	4	3	91	53	42		23.9
25-09-2012	(0_2_37)	7	0	2	104	26	75		19.2
25-09-2012	(5_2_37)	7	5	2	105	78	26		19.2
16-10-2012	(0_4_31)	6	0	4	91	15	84	7.00	16.4
16-10-2012	(1_4_31)	6	1	4	106	15	86	7.14	15.7
16-10-2012	(2_4_29)	5	2	4	93	17	82	6.98	16.4
16-10-2012	(1_4_26)	5	1	4	106	13	88	6.93	16.4

D-3) Résultats des analyses de la TDC, CSDCO et XDCO (ajout de polymère seulement) - MT 80 µm

Date	Code de l'essai	Chs.	Polym.	TDCO		CSDCO		XDCO		Abattement			Bilan de
				AFF	TAM	AFF	TAM	AFF	TAM	TDCO	SDCO	XDCO	
Unités		m/h	(mg/L)	mg/L						%			
23-08-2012	(0_0_26)	5	0	172	128	50	47	122	81	26	6	34	84
24-08-2012	(0_0_39)	7	0	180	123	70	51	110	72	32	27	35	91
24-08-2012	(0_3_39)	7	3	220	78	54	51	167	27	65	6	84	86

D-4) Résultats des analyses de TP, o-PO4 et XP (coagulant et polymère) – MT 80 µm

DATE	Code de l'essai	Chs.	Coag.	Polym.	TP		o-PO4		XP		ABATTEMENT		
	Unités	m/h	mg Fe/L	mg/L	(mg P/L)						TP	o-PO4	XP
					AFF	TAM	AFF	TAM	AFF	TAM	%		
21-08-2012	(0_0_37)	7	0	0	3.32	2.69	1.68	1.68	1.64	1.01	19	0	38
23-08-2012	(0_4_27)	5	0	4	4.83	2.32	1.93	1.84	2.90	0.48	52	5	83
24-08-2012	(0_3_39)	7	0	3	3.57	2.30	2.02	2.02	1.55	0.23	36	0	85
18-09-2012	(0_2_25)	4	0	2	4.36	2.97	1.79	1.74	2.57	1.23	32	3	52
30-08-2012	(4_3_25)	4	4	3	7.35	3.16	2.30	0.68	5.05	2.48	57	71	51
18-09-2012	(5_2_25)	4	5	2	4.28	2.72	1.68	0.64	2.60	2.08	36	62	20

ANNEXE 4 – Analyse statistique

A- Résumé des données de calcul de l'accumulation pour les MT 40 et 80 µm

	X1(Q AFF)	X2(dose)	X3(durée heu)	X4(tamis)	Y1_accumul
1	27	3,6	17,5	80	10,000
2	26	0,0	14,0	80	2,303
3	24	0,0	10,0	80	1,755
4	23	2,0	12,0	80	4,000
5	26	0,0	1,8	80	0,330
6	25	2,0	1,5	80	0,258
7	37	0,0	1,0	80	0,144
8	37	2,0	0,5	80	0,133
9	21	0,0	1,0	80	0,225
10	23	2,5	0,5	80	0,154
11	14	3	1	40	0,100
12	15	0	1	40	0,200
13	25	4	13,5	40	7,500
14	29	3	11,8	40	5,800
15	32	4	12	40	8,000
16	18	7	16,5	40	4,800

B- Analyse des données par la méthode *forward stepwise*

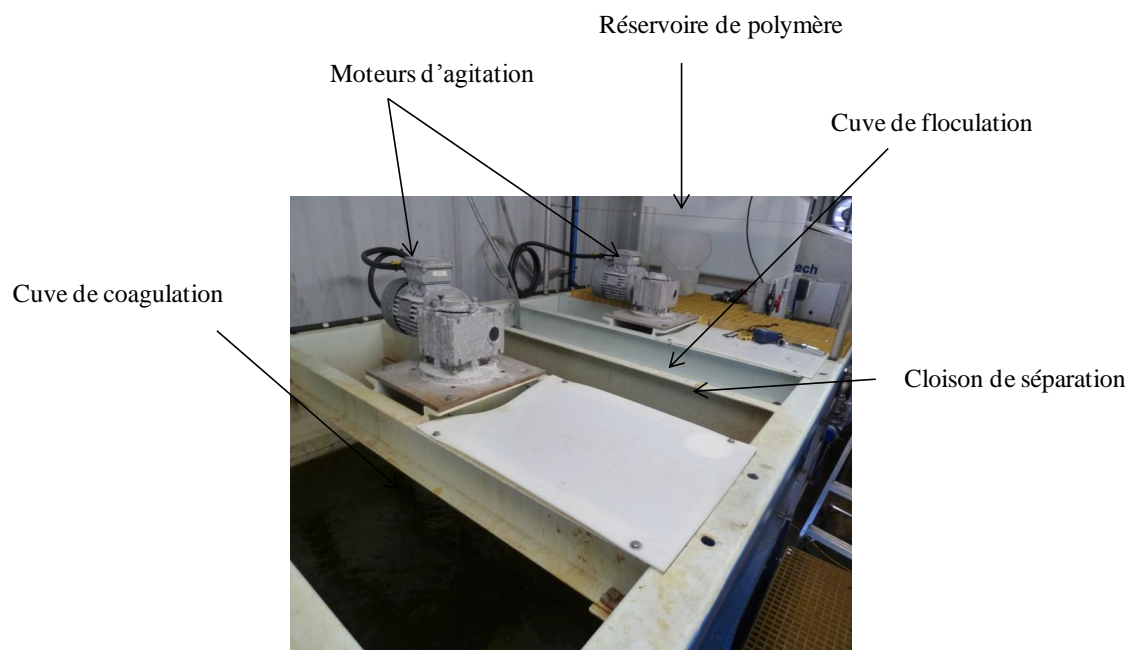
Summary of stepwise regression; variable: Y1_accumul							
Forward stepwise P to enter: ,05, P to remove: ,05							
	Steps	Degr. of - Freedom	F to - remove	P to - remove	F to - enter	P to - enter	Effect - status
X1(Q AFF)*X3(durée heu)		1	52,42853	0,000007			In
X1(Q AFF)*X2(dose)		1	11,58736	0,004706			In
X2(dose)		1			1,08784	0,31751	Out
X2(dose)^2		1			1,40664	0,25857	Out
X3(durée heu)		1			2,08488	0,17436	Out
X3(durée heu)^2		1			0,29534	0,59677	Out
X4(tamis)		1			0,10551	0,75090	Out
X1(Q AFF)^2		1			0,00002	0,99638	Out
X1(Q AFF)		1			0,00016	0,99021	Out
X2(dose)*X3(durée heu)		1			0,00348	0,95391	Out
X1(Q AFF)*X4(tamis)		1			0,05688	0,81552	Out
X2(dose)*X4(tamis)		1			0,01684	0,89891	Out
X3(durée heu)*X4(tamis)		1			0,40073	0,53859	Out

Univariate Results for Each DV

Forward stepwise solution Effective hypothesis decomposition

	Degr. of - Freedom	Y1_accumul - SS	Y1_accumul - MS	Y1_accumul - F	Y1_accumul - p
Intercept	1	6,0916	6,09158	5,09350	0,041872
X1(Q AFF)	0				
X1(Q AFF)^2	0				
X2(dose)	0				
X2(dose)^2	0				
X3(durée heu)	0				
X3(durée heu)^2	0				
X4(tamis)	0				
X1(Q AFF)*X2(dose)	1	13,8579	13,85793	11,58736	0,004706
X1(Q AFF)*X3(durée heu)	1	62,7020	62,70203	52,42853	0,000007
X2(dose)*X3(durée heu)	0				
X1(Q AFF)*X4(tamis)	0				
X2(dose)*X4(tamis)	0				
X3(durée heu)*X4(tamis)	0				
Error	13	15,5474	1,19595		
Total	15	171,1100			

ANNEXE 5 – Photos du pilote (filtre A disques- Hydrotech)



Cuve de coagulation et floculation



Équipement entourant le filtre à disques (Hydrotech)



MT – avant le lavage chimique



MT – après le lavage chimique

ANNEXE 6 - Compilation des conditions expérimentales des essais pilotes

A) Essais avec le MT 40 µm

No.de l'essai	1	Débit de lavage (L/min)	Q Lav	49
Date de l'essai	23-oct-12	Volume lavage/essai (m3)	V LAV	0.93
Date d'échantillonnage	23-oct-12	Nombre de lavage/essai	Nbr.LAV	19
Début de l'essai	14:08	Volume de rétentat /lavage (L)	V.RET/LAV	6.2
Durée de l'essai (min)	60	Volume du rétentat/essai (m ³)	V.RET	0.118
Débit moy. affluent (m ³ /h)	15	Volume du tamisat/essai (m3)	V.TAM	14.9
Débit max. affluent (m ³ /h)	16	Superficie filtrante (m2)	A	5.6
Débit min.affluent (m ³ /h)	12	Durée de lavage en rotation (min)		1
Dose coagulant (mg Fe/L)	0	Durée de filtration statique (min)		2.2
Dose de polymère (mg/L)	0	% de lavage (min/min)		31.25
Identification (Coag._Poly._Q AFF)	(0_0_15)	V LAV/V AFF (%)		6
Volume affluent /essai (m3)	15			
No.de l'essai	2	Débit de lavage (L/min)	Q Lav	49
Date de l'essai	23-oct-12	Volume lavage/essai (m3)	V LAV	0.34
Date d'échantillonnage	23-oct-12	Nombre de lavage/essai	Nbr.LAV	7
Début de l'essai	17:35	Volume de rétentat /lavage (L)	V.RET/LAV	10.7
Durée de l'essai (min)	40	Volume du rétentat/essai (m ³)	V.RET	0.075
Débit moy. affluent (m ³ /h)	15	Volume du tamisat/essai (m3)	V.TAM	9.93
Débit max. affluent (m ³ /h)	16	Superficie filtrante (m2)	A	5.6
Débit min.affluent (m ³ /h)	12	Durée de lavage en rotation (min)		1
Dose coagulant (mg Fe/L)	0	Durée de filtration statique (min)		9.5
Dose de polymère (mg/L)	3	% de lavage (min/min)		10
Identification (Coag._Poly._Q AFF)	(0_3_14)	V LAV/V AFF (%)		3
Volume affluent /essai (m3)	10.00			
No.de l'essai	3	Débit de lavage (L/min)	Q Lav	49
Date de l'essai	23-oct-12	Volume lavage/essai (m3)	V LAV	12.40
Date d'échantillonnage	24-oct-12	Nombre de lavage/essai	Nbr.LAV	253
Début de l'essai	20:00	Volume de rétentat /lavage (L)	V.RET/LAV	13
Durée de l'essai (min)	840	Volume du rétentat/essai (m ³)	V.RET	3
Débit moy. affluent (m3/h)	25	Volume du tamisat/essai (m3)	V.TAM	347
Débit max. affluent (m ³ /h)	28	Superficie filtrante (m2)	A	5.6
Débit min.affluent (m ³ /h)	23	Durée de lavage en rotation (min)		1
Dose coagulant (mg Fe/L)	0	Durée de filtration statique (min)		2.3
Dose de polymère (mg/L)	3	% de lavage (min/min)		30
Identification (Coag._Poly._Q AFF)	(0_3_24)	V LAV/V AFF (%)		4
Volume affluent /essai (m3)	350.00			

No.de l'essai	4	Débit de lavage (L/min)	Q Lav	49
Date de l'essai	30-oct-12	Volume lavage/essai (m3)	V LAV	10.34
Date d'échantillonnage	31-oct-12	Nombre de lavage/essai	Nbr.LAV	211
Début de l'essai	18:15	Volume de rétentat /lavage (L)	V.RET/LAV	14
Durée de l'essai (min)	708	Volume du rétentat/essai (m ³)	V.RET	3
Débit moy. affluent (m3/h)	29	Volume du tamisat/essai (m3)	V.TAM	339
Débit max. affluent (m ³ /h)	33	Superficie filtrante (m2)	A	5.6
Débit min.affluent (m ³ /h)	25	Durée de lavage en rotation (min)		1
Dose coagulant (mg Fe/L)	0	Durée de filtration statique (min)		2.4
Dose de polymère (mg/L)	3	%t de lavage (min/min)		29
Identification (Coag._Poly._Q AFF)	(0_3_29)	V LAV/V AFF (%)		3
Volume affluent /essai (m3)	342.20			

No.de l'essai	5	Débit de lavage (L/min)	Q Lav	49
Date de l'essai	01-nov-12	Volume lavage/essai (m3)	V LAV	9.80
Date d'échantillonnage	02-nov-12	Nombre de lavage/essai	Nbr.LAV	200
Début de l'essai	17:00	Volume de rétentat /lavage (L)	V.RET/LAV	15
Durée de l'essai (min)	720	Volume du rétentat/essai (m ³)	V.RET	3
Débit moy. affluent (m3/h)	32	Volume du tamisat/essai (m3)	V.TAM	381
Débit max. affluent (m ³ /h)	34	Superficie filtrante (m2)	A	5.6
Débit min.affluent (m ³ /h)	26	Durée de lavage en rotation (min)		1
Dose coagulant (mg Fe/L)	0	Durée de filtration statique (min)		2.6
Dose de polymère (mg/L)	4	% de lavage (min/min)		28
Identification (Coag._Poly._Q AFF)	(0_4_32)	V LAV/V AFF (%)		3
Volume affluent /essai (m3)	384.00			

No.de l'essai	6	Débit de lavage (L/min)	Q Lav	49
Date de l'essai	04-nov-12	Volume lavage/essai (m3)	V LAV	8.62
Date d'échantillonnage	05-nov-12	Nombre de lavage/essai	Nbr.LAV	176
Début de l'essai	18:05	Volume de rétentat /lavage (L)	V.RET/LAV	15
Durée de l'essai (min)	990	Volume du rétentat/essai (m ³)	V.RET	2.6
Débit moy. affluent (m3/h)	18	Volume du tamisat/essai (m3)	V.TAM	294
Débit max. affluent (m ³ /h)	22	Superficie filtrante (m2)	A	5.6
Débit min.affluent (m ³ /h)	14	Durée de lavage en rotation (min)		1
Dose coagulant (mg Fe/L)	0	Durée de filtration statique (min)		4.6
Dose de polymère (mg/L)	7	%t de lavage (min/min)		18
Identification (Coag._Poly._Q AFF)	(0_7_18)	% V LAV/V AFF (%)		3
Volume affluent /essai (m3)	297.00			

B) Essais avec le MT 80 µm

No.de l'essai	1	Débit de lavage (L/min)	Q Lav	49
Date de l'essai	2012-18-22	Volume lavage/essai (m3)	V LAV	9.11
Date d'échantillonnage	2012-18-23	Nombre de lavage/essai	Nbr.LAV	186
Début de l'essai	13:30	Volume de rétentat /lavage (L)	V.RET/LAV	13
Durée de l'essai (min)	1050	Volume du rétentat/essai (m ³)	V.RET	2.4
Débit moy. affluent (m3/h)	27	Volume du tamisat/essai (m3)	V.TAM	470
Débit max. affluent (m ³ /h)	29	Superficie filtrante (m2)	A	5.6
Débit min.affluent (m ³ /h)	21	Durée de lavage en rotation (min)		1
Dose coagulant (mg Fe/L)	0	Durée de filtration statique (min)		4.6
Dose de polymère (mg/L)	4	% de lavage (min/min)		18
Identification (Coag._Poly._Q AFF)	(0_4_27)	V LAV/V AFF (%)		2
Volume affluent /essai (m3)	472.50			

No.de l'essai	2	Débit de lavage (L/min)	Q Lav	49
Date de l'essai	13-sept-12	Volume lavage/essai (m3)	V LAV	1.91
Date d'échantillonnage	13-sept-12	Nombre de lavage/essai	Nbr.LAV	39
Début de l'essai	13:50	Volume de rétentat /lavage (L)	V.RET/LAV	6
Durée de l'essai (min)	108	Volume du rétentat/essai (m ³)	V.RET	0.2
Débit moy. affluent (m3/h)	26	Volume du tamisat/essai (m3)	V.TAM	47
Débit max. affluent (m ³ /h)	28	Superficie filtrante (m2)	A	5.6
Débit min.affluent (m ³ /h)	22	Durée de lavage en rotation (min)		1
Dose coagulant (mg Fe/L)	0	Durée de filtration statique (min)		1.8
Dose de polymère (mg/L)	0	% de lavage (min/min)		36
Identification (Coag._Poly._Q AFF)	(0_0_26)	V LAV/V AFF (%)		4
Volume affluent /essai (m3)	46.80			

No.de l'essai	3	Débit de lavage (L/min)	Q Lav	49
Date de l'essai	18-sept-12	Volume lavage/essai (m3)	V LAV	0.78
Date d'échantillonnage	18-sept-12	Nombre de lavage/essai	Nbr.LAV	16
Début de l'essai	13:50	Volume de rétentat /lavage (L)	V.RET/LAV	11
Durée de l'essai (min)	90	Volume du rétentat/essai (m ³)	V.RET	0.2
Débit moy. affluent (m3/h)	25	Volume du tamisat/essai (m3)	V.TAM	37
Débit max. affluent (m ³ /h)	28	Superficie filtrante (m2)	A	5.6
Débit min.affluent (m ³ /h)	24	Durée de lavage en rotation (min)		1
Dose coagulant (mg Fe/L)	0	Durée de filtration statique (min)		4.6
Dose de polymère (mg/L)	0	% de lavage (min/min)		18
Identification (Coag._Poly._Q AFF)	(0_2_25)	V LAV/V AFF (%)		2
Volume affluent /essai (m3)	37.50			

No.de l'essai	4	Débit de lavage (L/min)	Q Lav	49
Date de l'essai	25-sept-12	Volume lavage/essai (m3)	V LAV	0.98
Date d'échantillonnage	25-sept-12	Nombre de lavage/essai	Nbr.LAV	20
Début de l'essai	16:00	Volume de rétentat /lavage (L)	V.RET/LAV	7
Durée de l'essai (min)	60	Volume du rétentat/essai (m ³)	V.RET	0.1
Débit moy. affluent (m3/h)	37	Volume du tamisat/essai (m3)	V.TAM	37
Débit max. affluent (m ³ /h)	39	Superficie filtrante (m2)	A	5.6
Débit min.affluent (m ³ /h)		Durée de lavage en rotation (min)		1
Dose coagulant (mg Fe/L)	0	Durée de filtration statique (min)		2
Dose de polymère (mg/L)	0	% de lavage (min/min)		33
Identification (Coag,_Poly._Q AFF)	(0_0_37)	V LAV/V AFF (%)		3
Volume affluent /essai (m3)	37.00			
No.de l'essai	5	Débit de lavage (L/min)	Q Lav	49
Date de l'essai	25-sept-12	Volume lavage/essai (m3)	V LAV	0.44
Date d'échantillonnage	25-sept-12	Nombre de lavage/essai	Nbr.LAV	9
Début de l'essai	17:07	Volume de rétentat /lavage (L)	V.RET/LAV	12
Durée de l'essai (min)	30	Volume du rétentat/essai (m ³)	V.RET	0.1
Débit moy. affluent (m3/h)	37	Volume du tamisat/essai (m3)	V.TAM	18
Débit max. affluent (m ³ /h)		Superficie filtrante (m2)	A	5.6
Débit min.affluent (m ³ /h)		Durée de lavage en rotation (min)		1
Dose coagulant (mg Fe/L)	0	Durée de filtration statique (min)		2.3
Dose de polymère (mg/L)	2	% de lavage (min/min)		30
Identification (Coag,_Poly._Q AFF)	(0_2_37)	V LAV/V AFF (%)		2
Volume affluent /essai (m3)	18.50			